

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки  
Кафедра електронних приладів та пристроїв

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_ Л.Д. Писаренко  
“    ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

освітньо-кваліфікаційного рівня **«Бакалавр»**

з спеціальності : **6.050802- Електронні пристрої та системи**  
Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**  
на тему **«ЕЛЕКТРОННА ОХОРОНА СИСТЕМА»**

**Виконав:**

Студент 4 курсу, гр.ДЕ-351 **Бронніков Назар Андрійович** \_\_\_\_\_

**Науковий керівник:**

Ст. викладач **Бевза О.М.** \_\_\_\_\_

**Нормоконтроль:**

Доцент, к.т.н. **Чадюк В. О.** \_\_\_\_\_

**Рецензент:**

Професор кафедри  
мікроелектроніки, к.т.н., доцент **Орлов А.Т.** \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій бакалаврській  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Київ – 2019**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет                      Е л е к т р о н і к и  
Кафедра                      Електронні прилади та пристрої  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Спеціальність: 6.050802 – Електронні пристрої та системи  
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_ Л.Д. Писаренко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студенту

**Бронніков Назар Андрійович**

**1. Тема роботи: ЕЛЕКТРОННА ОХОРОНА СИСТЕМА**

керівник роботи **Бевза Олег Миколайович** , старший викладач,  
затверджений наказом по університету від 27.05.2019 р., № 1406-С

**2. Термін подання студентом роботи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.**

**3. Вихідні дані до роботи:** Охоронна система на ІЧ-променях: довжина хвилі оптичного випромінювання  $\lambda = 0,94 \mu\text{м}$ ; максимальна відстань між приймачем та передавачем – 50 м; напруга живлення –  $U = 12\text{В}$ ; максимальний струм споживання – 60 мА.

**4. Зміст роботи:** Анотація; вступ; огляд характеристик пасивних та активних інфрачервоних датчиків, напівпровідникових фотоприймальних пристроїв,

розробка активного блоку охороної системи, висновки; список використаної науково-технічної літератури.

**5. Перелік ілюстративного матеріалу:** Електричні схеми приймача та передавача сигналів, друковані плати, плакати з формулами та графіками.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих електронних технічних засобів охорони	14.12.2018	
2	Порівняння характеристик та параметрів пасивних та активних інфрачервоних датчиків	10.02.2019	
3	Напівпровідникові фотоприймальні пристрої, порівняння їх характеристик	15.03.2019	
4	Фотодіоди на основі <i>p-n</i> та фотодіоди на основі <i>p-i-n</i> структури, порівняння їх характеристик	20.04.2019	
5	Створення інфрачервоного блоку, що складається з двох окремих модулів приймача та передавача сигналів	31.05.2019	
6	Оформлення пояснювальної записки, креслення, підготовка доповіді	15.06.2019	

Студент \_\_\_\_\_

Н. А. Бронніков

Керівник роботи \_\_\_\_\_

О. М. Бевза

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 6.050802- Електронні пристрої та системи, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. **Бронніков Н.А.** КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-51. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 64 с., іл.17, табл.-1.

**Ключові слова:** ІЧ – інфрачервоний; ТЗО - технічні засоби охорони; PIR - passive infrared (пасивний інфрачервоний); АРП - автоматичне регулювання потужності; ВАХ - вольт-амперна характеристика

### **Короткий зміст роботи:**

Дипломна робота присвячена актуальній проблемі створення охоронної системи на ІЧ-променях, що використовує активний ІЧ-датчик.

Розглянуто основні характеристики, структура та принцип дії ІЧ-датчиків і їх застосування.

Представлено результати розробки електричних принципових схем та друкованих плат, обґрунтовано вибір елементної бази для передавача та приймача охоронної системи на ІЧ-променях.

## **АНОТАЦІЯ**

Дипломна робота присвячена актуальній проблемі створення охоронної системи на ІЧ-променях, що використовує активний ІЧ-датчик.

Розглянуто основні характеристики, структура та принцип дії ІЧ-датчиків і їх застосування.

Представлено результати розробки електричних структурної та принципової схем та друкованих плат, обґрунтовано вибір елементної бази для передавача та приймача охоронної системи на ІЧ-променях.

## **S U M M A R Y**

Diploma thesis is devoted to the actual problem of the creation of IR-beams guarding system, using active IR-sensor.

The work considers the main characteristics, structure and principle of IR-sensors and their use.

Results of electric principal schemes and printed circuit boards are presented, the choice of elements for the receiver and transmitter of IR guard system is proved.

[illegible]

## З М І С Т

Перелік умовних позначень та скорочень .....	8
Вступ .....	9
1. Аналіз існуючих електронних технічних засобів охорони (ТЗО).....	10
1.1. Загальний огляд .....	10
1.2. Склад і призначення .....	11
1.3. Типи датчиків для охоронних систем .....	15
2. Характеристика ІЧ-датчиків.....	18
2.1. Пасивні ІЧ-датчики .....	18
2.1.1. Принцип дії пасивних ІЧ-датчиків .....	18
2.1.2. Оптична система пасивних ІЧ-датчиків .....	22
2.1.3. Сигналоутворення в пасивних ІЧ-датчиках .....	24
2.1.4. Перешкоди в пасивних ІЧ-датчиках .....	26
2.1.5. Методи, алгоритми і схемно-конструктивні рішення для підвищення перешкодостійкості пасивних ІЧ-датчиків .....	30
2.1.6. Методи захисту від саботажу .....	33
2.1.7. Структурна схема пасивного ІЧ-датчика .....	34
2.2. Активні ІЧ-датчики .....	35
2.2.1. Принцип дії активних ІЧ-датчиків.....	35
2.2.2. Особливості використання активних ІЧ-датчиків.....	36
2.2.3. Монтаж та налаштування ІЧ-бар'єра.....	39
3. Напівпровідникові фотоприймальні пристрої .....	
3.1. Принцип роботи фотоприймальних пристроїв.....	41
3.2. Характеристики, параметри та моделі фотоприймачів .....	44
3.2.1. Параметри фотоприймачів.....	44
3.2.2. Характеристики фотоприймачів.....	45
3.2.3. Параметри фотоприймача як елемента оптопари.....	46
3.3. Фотодіоди на основі <i>p-n</i> -переходу.....	47
3.4. Фотодіоди з <i>p-i-n</i> -структурою.....	50
4. Розробка активного ІЧ-бар'єру .....	53
4.1. Вибір фотоприймача.....	53
4.2. Принципова схема пристрою.....	54
4.3. Робота пристрою.....	54
4.4. Конструкція пристрою.....	56
4.5. Особливості використання пристрою .....	56
Висновки.....	59
Список використаної літератури .....	60
<b>Додатки:</b>	
1. Порівняльна таблиця деяких сучасних активних ІЧ-бар'єрів .....	61
3. ЗБР.6.050802.051.002.002 ПЕ – Приймач. Перелік елементів .....	63
4. ЗБР.6.050802.051.002.003 ПЕ – Передавач. Перелік елементів .....	64

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ЕЛЕКТРОННА ОХОРОНА СИСТЕМА</b>		
Розроб.		Бронніков Н.А.					
Перевір.		Бевза О.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Чадюк В.О.					
Затверд.		Писаренко Л.Д.			ФЕЛ, каф.ЕП та П, гр.ЕА-351		

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ІЧ - інфрачервоний

ТЗО - технічні засоби охорони

PIR - passive infrared (пасивний інфрачервоний)

АРП - автоматичне регулювання потужності

ВАХ - вольт-амперна характеристика

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

На сьогоднішній день існує велике різноманіття охоронних систем. Основними можна назвати наступні системи: системи охоронно-пожежної сигналізації, системи обмеження доступу, системи відеоспостереження.

Головним елементом будь-якої охоронно-пожежної системи є датчик. Існує багато типів датчиків, які розрізняються за своїм призначенням та принципом дії. Розрізняють електроконтактні, магнітоконтактні датчики, вібродатчики, ультразвукові, фотоелектричні датчики та ін.

Але найбільшого розповсюдження сьогодні набули пасивні (датчики зміни температури) та активні інфрачервоні датчики руху, які є достатньо надійними та простими у налаштуванні та використанні.

Метою цієї роботи є аналіз різних технічних засобів охорони та розробка охоронної системи на ІЧ-променях, яка була б недорогою, максимально простою у виготовленні.

В даній роботі було проведено аналіз існуючих технічних засобів охорони, а саме: розглянуті основні групи цих засобів, порівняння різних типів датчиків, що використовуються в охоронних системах. Для вибору типу ІЧ-датчика для розробки охоронної системи було проведено порівняння активних та пасивних ІЧ-датчиків. Також були розглянуті основні фізичні процеси, що відбуваються у фотоприймальних діодах, включаючи фотодіоди з *p-i-n*-структурою.

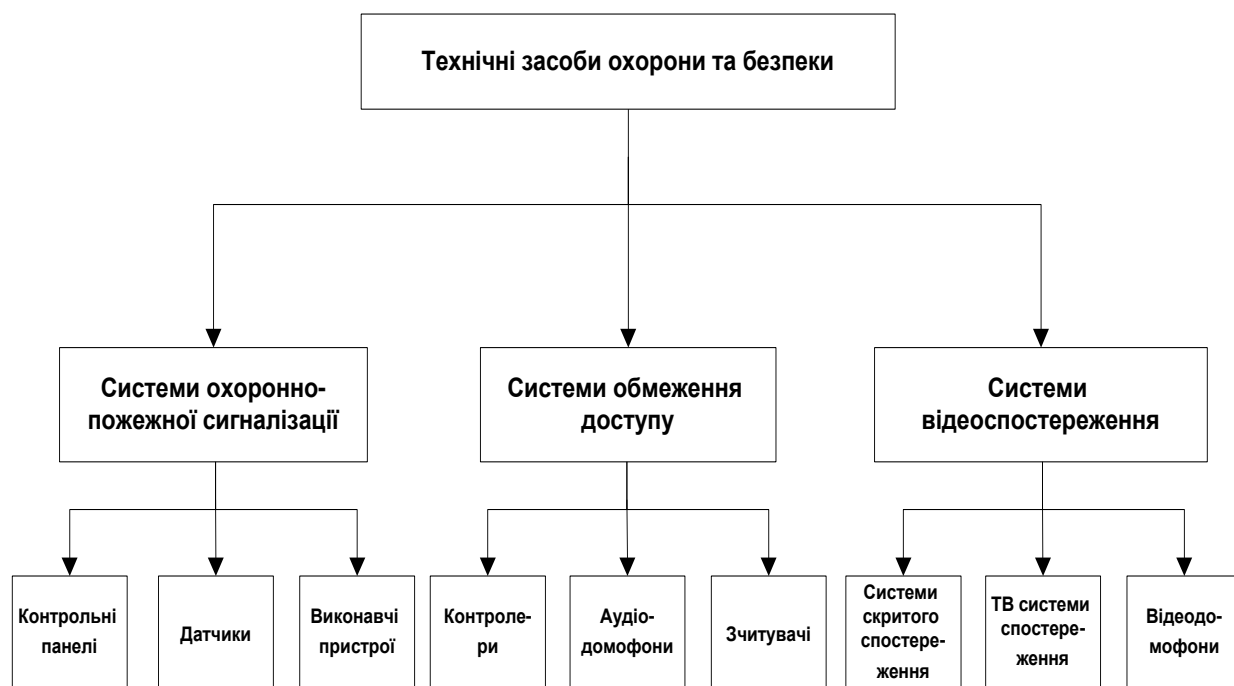
Для передавача було обґрунтовано вибір двогенераторної схеми, що виробляє короткі пакети імпульсів з частотою 36 кГц (на цю частоту орієнтовано обраний фотодіод). Ця схема дозволила значно знизити вірогідність помилкових спрацьовувань датчика. Охоронна система на ІЧ-променях: довжина хвилі оптичного випромінювання  $\lambda = 0,94 \mu\text{м}$ ; максимальна відстань між приймачем та передавачем – 50 м; напруга живлення –  $U = 12\text{В}$ ; максимальний струм споживання – 60 мА.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОННИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ

## 1.1. Загальний огляд

Для підвищення рівня охорони і безпеки використовуються електронні технічні засоби (Рис. 1.1). До них відносяться системи охоронної і пожежної сигналізації, системи обмеження доступу, системи телевізійного спостереження. Окремо можна виділити автомобільні охоронні системи і комплекси на базі ЕОМ, що включають вище перелічені системи. Отже, розглянемо охоронні системи квартир, офісів, підприємств [1- 4].



**Рис. 1.1. Склад технічних засобів охорони і безпеки**

Перераховані вище системи можуть працювати як окремо, так і в комплексі. Наприклад, телевізійне спостереження і охорона можуть здійснюватися на великому числі об'єктів або на одному окремо взятому — квартирі або офісі. Системи будь-якої складності будуються на базі одних і тих же технічних пристроїв (Рис. 1.1). Для забезпечення охорони і безпеки приміщень необхідно вибрати відповідні технічні засоби, які в стані забезпечити високу надійність покладених на них задач.

## 1.2. Склад та призначення ТЗО

*Системи охоронно-пожежної сигналізації* призначені для визначення факту несанкціонованого проникнення на територію, що охороняється, або появи на ній ознак пожежі, видачі сигналу тривоги на пульт охорони і включення виконавчих пристроїв (сирени, освітлення і т. д.). Системи охоронно-пожежної сигналізації включають контрольні панелі, датчики і детектори, виконавчі пристрої, пристрої сповіщення (сирени, дзвінки і т. п.) і джерела живлення.

*Контрольна панель (приймально-контрольний прилад)* — це центральний пристрій системи охоронної сигналізації, виконаний на базі мікроконтролера, програма якого визначає всі функції системи. Контрольна панель може підключатися до комп'ютера для обробки і реєстрації сигналів тривоги, автоматичного аналізу стану датчиків і функціонування всієї системи. Контрольні панелі управляють виконавчими пристроями: включають сирену, прожектор, додзвонюються по телефонній лінії до заданого абонента. Для реєстрації змін контрольованого параметра в системах охоронної сигналізації використовуються різні сповіщувачі.

*Сповіщувач* — це пристрій, що формує певний сигнал про зміну того або іншого контрольованого параметра довкілля. Сповіщувачі можна умовно розділити на датчики і детектори. Тут під датчиками розумітимемо сповіщувачі, що перетворюють фізичні величини і характеристики (наприклад, тепло, світло, звук і т. п.) в електричний сигнал. Детекторами ж називатимемо сповіщувачі, що включають датчики, схему обробки сигналів і схему прийняття рішення.

Прості датчики виробляють аналогову обробку сигналів, що не завжди забезпечує необхідну надійність їх роботи. Підвищення надійності роботи датчиків забезпечується використанням цифрових методів обробки сигналів. За принципом дії датчики можна розділити на:

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- електроконтактні (фольга, дріт);
- магнітоконтактні;
- вібродатчики;
- ультразвукові;
- радіохвильові;
- фотоелектричні;
- детектори битого скла;
- пасивні і активні ІЧ-детектори руху;
- комбіновані.

Датчики і детектори дозволяють контролювати частину об'єкту (об'єм, площину і т. п.), що охороняється, що іменується зоною. Різні типи датчиків більш детально розглянуті нижче [5 - 9].

**Виконавчі пристрої** призначені для передачі інформації користувачеві або компетентним органам про спрацювання системи охорони шляхом подачі звукового і (або) світлового сигналів або шляхом автоматичного дозвону по телефонній лінії зв'язку до заздалегідь визначених абонентів, а також для управління різними механізмами, що забезпечують посилення безпеки.

До виконавчих пристроїв відносяться лампи зовнішнього освітлення, прожектори, стробоскопи, сирени, автодозвонщики, блоки електромагнітних реле, електрозамки і тому подібне. Прожектори, лампи зовнішнього освітлення і стробоскопи освітлюють територію, що охороняється, і включаються в разі спрацювання сигналізації, привертаючи увагу оточуючих. Яскравий спалах стробоскопа в темний час доби або в погано освітленому приміщенні може приголомшити злочинця і на деякий час вивести його з ладу. Сирени або ревуни видають гучний звуковий сигнал потужністю до 130 дБ, який може бути почутий на відстані декількох сотень

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

метрів. Сирени мають різне оформлення і розміри, деякі з них обладнані автономним джерелом живлення. Тривалість звучання сирени може бути різною і встановлюється за бажанням користувача. Пристрої автоматичного дозвону (автодозвонщики, або комунікатори) підключаються до телефонної лінії і можуть додзвонюватися в автоматичному режимі до одного або декількох абонентів залежно від логіки роботи системи охорони. Блоки електромагнітних реле забезпечують включення потужних виконавчих механізмів і приладів.

**Системи обмеження доступу** призначені для автоматизованого допуску в приміщення лише тих користувачів, яким дозволені відвідини даного приміщення. Вони засновані на використанні апаратно-програмних засобів, що керують пересуванням людей і транспорту через контрольовані точки проходу. Це можуть бути невеликі системи, на 1...3 двері, або системи, контролюючі переміщення декількох тисяч чоловік. Ідентифікація користувача відбувається за допомогою пред'явлення електронної або магнітної картки або шляхом введення певного цифрового коду. Система обмеження доступу включає зчитувачі і контролери. Крім того, до систем обмеження доступу можна віднести і аудіодомофонні системи з дистанційним відкриттям дверей.

**Зчитувачі** необхідні для зчитування ідентифікаційного коду і передачі його в контролер. Ці пристрої призначені для перетворення унікального коду кодового ключа в код стандартного формату, що передається для аналізу і ухвалення рішення в дверний контролер. Зчитувачі розрізняються фізичними принципами реалізації (пластикові картки з магнітною смугою, штриховим кодом, безконтактні картки Proximity, ключі і картки з вбудованими інтегральними мікросхемами і т. п.). Ці пристрої розташовуються безпосередньо біля дверей і інших точок проходу, що обмежують переміщення користувачів (турнікет, шлюз і т. п.). Крім того, вони можуть

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати ще ряд таких функцій, як управління відкриттям дверей, контроль часу відкриття дверей, контроль однієї зони охорони.

**Контролер** необхідний для управління зчитувачами і виконавчими пристроями. Він приймає рішення про доступ конкретного користувача, що пред'явив пристрій ідентифікації, через конкретну точку проходу в конкретний час на підставі інформації, що зберігається в ньому, про конфігурацію системи і права користувачів системи обмеження доступу. Пристроєм ідентифікації є аналог ключа, що підтверджує повноважність прав його власника і служить для управління точкою проходу. Контролер може обслуговувати один або декілька зчитувачів і розташовуватися на віддаленні від них. Декілька контролерів можуть утворювати групу, що обслуговує територіально і логічно виділяєму частину системи обмеження доступу (поверх, будівлю, організацію), іменуєму об'єктом.

**Аудіодомофонна система** призначена для обмеження доступу сторонніх осіб в приватні квартири, дачі, під'їзди багатоповерхових будинків, офісів, банків, медичних установ та ін. Вона дозволяє вести переговори з відвідувачами і дистанційно відкривати входні двері у разі потреби. Крім того, сучасні аудіодомофонні пристрої дозволяють виконувати функції охоронної системи.

**Системи відеоспостереження** призначені для візуального спостереження за об'єктом, що охороняється, за допомогою телекамер. Вони дозволяють стежити одночасно за одним або декількома об'єктами. Камери спостереження можуть розташовуватися як усередині приміщення, так і ззовні. Завдання системи відеоспостереження полягає в наочному уявленні відеоінформації про оперативну обстановку на контрольованому об'єкті. Одним з різновидів таких систем є відеодомофони, що виконують функції дверного очка і переговорного пристрою одночасно. Системи прихованого спостереження використовують мініатюрні відеокамери з інфрачервоним підсвічуванням для роботи в умовах поганого освітлення.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Системи прихованого спостереження** використовуються для підвищення ефективності охорони і встановлюються там, де необхідно приховати факт спостереження. Завдання систем прихованого спостереження — не вивчати відвідувачів, а контролювати ситуацію на території, що охороняється. За допомогою плоскої, розміром з сірникову коробку, камери із спеціальним об'єктивом типу Pin-hole (камера з винесеною вхідною зіницею) і діаметром вхідної зіниці 0,8...2,0 мм можна вести приховане спостереження за будь-якою частиною приміщення. Такі камери можуть встановлюватися в корпусі годинника, на одвірку, під шпалерами і тому подібне. Іншим, простішим, способом такого спостереження є використання так званих відеоочок з надширококутною оптикою, призначених для монтажу в дверях. Зовні вони нічим не відрізняються від звичайних дверних очок. Живлення і передача відеосигналу від цих пристроїв здійснюється по кабелю або радіоканалу.

### 1.3. Типи датчиків для охоронних систем

**Електроконтактні датчики** призначені для реєстрації пошкоджень і руйнування конструкцій, на яких вони закріплені: скляного полотна вікон, дверей, склопакетів і так далі в опалювальних і не опалювальних приміщеннях. Вони виготовляються з тонкої алюмінієвої фольги завтовшки від 0,008 до 0,04 мм і шириною не більше 12,5 мм. Фольга має клейовий шар. Іноколи для тих же цілей замість фольги використовують тонкий дріт [10-12].

**Магнітоконтактні датчики** призначені для реєстрації відкриття дверей і вікон, на яких вони встановлені. Датчики бувають двох видів: для зовнішньої і скритної установки. Вони виконані на основі герконів, контакти яких замикаються або розмикаються при наближенні (віддаленні) постійного магніту. Підключаються такі датчики до охоронних сигналізацій за допомогою дротяного шлейфу [10-12].

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

**Вібродатчики** призначені для виявлення навмисного пошкодження різних будівельних конструкцій: бетонних стін і перекриттів, цегельних стін, дерев'яних (рами і двері) і стельових покриттів, а також сейфів і металевих шаф. Принцип дії вібрдатчиків заснований на п'єзоефекті або ефекті електромагнітної індукції, коли постійний магніт переміщається уздовж обмотки котушки і тим самим наводить в ній змінний струм. У вітчизняній і зарубіжній літературі, залежно від технічної реалізації, датчики називають електромагнітними, магніторезонансними або п'єзодатчиками [10].

**Ультразвукові детектори** призначені для охорони закритих приміщень і характеризуються високою чутливістю і низькою перешкодостійкістю. Дія їх заснована на інтерференції ультразвукових коливань. До складу ультразвукового детектора входять випромінювач і приймач. При закритих вікнах і дверях простір, контрольований детектором, обмежений, і в точці розташування приймача формується стійка інтерференційна картина. При проникненні якого-небудь об'єкту в приміщення стійкість інтерференційної картини порушується і формується сигнал тривоги [3].

**Радіохвильові детектори** призначені для реєстрації руху в контрольованій зоні. Принцип дії заснований на випромінюванні сигналу надвисокої частоти і прийомі відбитого сигналу, частота якого змінюється при русі порушника (ефект Допплера). Ці прилади використовуються для охорони закритих приміщень і периметрів.

**Фотоелектричні датчики** призначені для охорони внутрішнього і зовнішнього периметрів, безконтактного блокування прольотів, дверей, коридорів і тому подібне. Вони складаються з передавача і приймача, рознесених уздовж лінії охорони, і використовують сигнал інфрачервоного діапазону з довжиною хвилі порядку 1 мкм [9].



*Детектори битого скла (ДБС)* призначені для реєстрації навмисного руйнування скляних конструкцій: вікон, вітрин і ін. Вони реагують на звук скла, що б'ється, і удару об скло, а також аналізують спектр звукових шумів в приміщенні, дозволяють безконтактно контролювати цілісність скла розміром більше 20х20 см [4].

*ІЧ-детектори руху* призначені для виявлення руху теплового об'єкту в зоні, що охороняється. За принципом дії вони підрозділяються на пасивні і активні. В наш час обидва типи знаходять широке використання. Вибір конкретного типу залежить від поставленої задачі. Недоліком найпростіших і дешевших ІЧ-детекторів руху є низька перешкодостійкість — вони спрацьовують навіть при виникненні теплового потоку, наприклад, із-за прогрівання сонцем приміщення. Досконаліші детектори позбавлені цього недоліку. Їх надійність і стійкість до теплових перешкод забезпечується багатоканальними піроелементами і складною електронною обробкою сигналу в самому детекторі. У простих моделях обробка сигналів здійснюється аналоговими методами, а в складніших — цифровими, наприклад, за допомогою вбудованого процесора [9].

## В и с н о в к и

Проведено аналіз існуючих технічних засобів охорони, а саме: розглянуті основні групи цих засобів, порівняння різних типів датчиків, що використовуються в охоронних системах: електроконтактні (фольга, дріт); магнітоконтактні; вібродатчики; ультразвукові; радіохвильові; фотоелектричні; детектори битого скла; пасивні і активні ІЧ-детектори руху; комбіновані.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ІНФРАЧЕРВОНИХ ДАТЧИКІВ

### 2.1. Пасивні ІЧ-датчики

#### 2.1.1. Принцип дії пасивних ІЧ-датчиків

В наш час інфрачервоні пасивні датчики (*PIR* - детектори) набули широкого поширення і є одним з основних засобів сигналізації для захисту приміщень, площ, проходів, коридорів і тому подібне. Десятки фірм багатьох країн світу виробляють сотні модифікацій цих датчиків, загальний випуск яких по оцінках західних експертів, перевищив мільйон екземплярів. Принцип дії ІЧ-пасивного датчика заснований на вимірі різниці температур людини і навколишньої поверхні (стін, підлоги і меблів) приміщення, в зоні видимості вхідної оптики приладу. Всяке тіло, температура якого відмінна від абсолютного нуля, випускає електромагнітне випромінювання, довжина хвилі і амплітуда якого залежить від його температури. Чим вища температура, тим коротша довжина хвилі і більша інтенсивність випромінювання. У нашому випадку при температурі поверхні тіла людини 34-37 градусів Цельсія (310 градусів Кельвіна.), максимум спектру випромінювання лежить в області 8 мікрон. Для роботи в цьому діапазоні спектру потрібні спеціальні чутливі елементи з максимумом чутливості саме в цьому діапазоні [4].

Для створення об'ємної зони виявлення вхідна оптика приладу має бути досить ширококутною, такою, що охоплює, по можливості, все приміщення. Приймач вимірює загальний потік випромінювання фону і перетворює його в електричний сигнал. Проте якщо людина знаходиться у полі зору приймача, то його переміщення при рівномірній температурі фону не викличе зміни сигналу, оскільки сумарна потужність випромінювання, що поступає на приймач, не залежатиме від його положення. Тому, для того, щоб забезпечити максимальну амплітуду сигналу при русі людини, необхідно якимось способом створити нерівномірну зону чутливості з тим, щоб добитися максимуму модуляції потоку випромінювання, що поступає на чутливий приймач при русі людини. Амплітуда модуляції досягає максимуму

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в разі формування зон, що мають області максимальної чутливості і чергуються з нульовою чутливістю. Це можливо зробити декількома способами. У перших зразках використовувалися непрозорі растри у вигляді смуг різної ширини, що наносяться на вхідне вікно приладу. Використовувалися також растри у вигляді несиметричних спіралей із змінною шириною лінії або у вигляді несиметричної мозаїки. У всіх цих випадках сигнал змінюється залежно від того, в якому місці приміщення опинялася людина. Проте глибина модуляції в растрових системах складає в кращому разі одиниці відсотків і, крім того, непрозорий растр зменшує загальний потік випромінення, що поступає на приймач. Другий спосіб, реалізований вперше в 70-х роках, полягає у використанні спеціальної оптичної системи, що створює зону чутливості у вигляді "променів", що чергуються, з максимальною і нульовою чутливістю. В цьому випадку перехід людини із зони з нульовою чутливістю в зону з максимальною (тобто з "тіні" в "промінь") дає максимально можливу зміну сигналу.

Для формування такої зони з чергуванням областей максимальної і мінімальної чутливості використовується так звана розмножувальна оптика. Перший час для цього застосовувалися сегментовані сферичні дзеркала з поєднаними фокусами або поєднання сегментів плоских дзеркал і одного сферичного дзеркала. Кожен дзеркальний сегмент формував свій "промінь", створюючи зону максимальної чутливості. Оскільки для надійного захисту всього приміщення необхідно щонайменше 15-20 променів, оптична система виходила громіздкою і великогабаритною, причому виготовлення дзеркальних елементів вимагало досить складного технологічного устаткування. У 1981 році з'явився патент США № 4.263.585, де запропоновано використовувати як об'єктив з розмножувальною оптикою лінз Френеля, виштампованих на вхідному вікні, виготовленому із спеціального поліетилену, що володіє хорошою прозорістю в області 8 мікрон (Рис. 2.1). Перші прилади, реалізовані з використанням цього принципу, з'явилися в 1982 році (фірма VICOM - Німеччина, PULNIX -

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

США). Надалі цей спосіб практично витіснив всі інші і зайняв лідируюче положення [3].

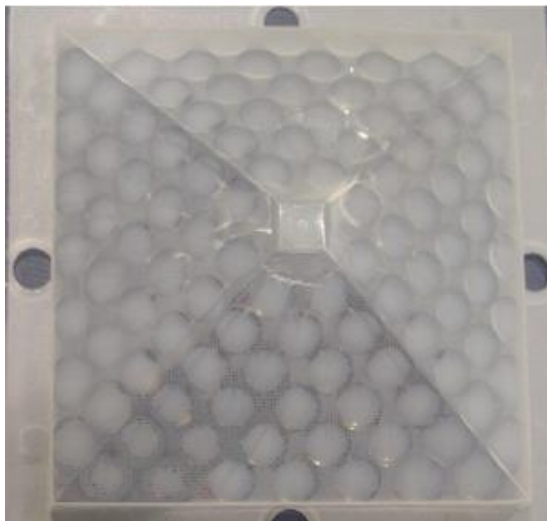


Рис. 2.1. Мультилінза Френеля

Найважливішою складовою частиною ІЧ-датчика є чутливий елемент, що сприймає тепловий контраст температур фону і людини. Як такий елемент може бути використано декілька типів пристроїв, що відрізняються фізичним принципом перетворення енергетичного теплового потоку в електричний сигнал і конструкцією. Фотонний приймач здійснює пряму взаємодію падаючих квантів випромінювання з атомами матеріалу, в результаті збудження яких з'являється електричний сигнал. Проте він вимагає глибокого охолодження, громіздкий і має велике енергоспоживання [9].

Термоелементи володіють низькою вольтватною чутливістю (одиниці вольт на ват), що вимагає використання підсилювачів з виключно малим рівнем шуму, що досяжно лише за умови їх охолодження. Оптико-акустичні перетворювачі мають складну і громіздку конструкцію, великі габарити і високу чутливість до вібрацій.

Термоелементи володіють низькою вольтватною чутливістю (одиниці вольт на ват), що вимагає використання підсилювачів з виключно малим рівнем шуму, що досяжно лише за умови їх охолодження. Оптико-акустичні перетворювачі мають складну і громіздку конструкцію, великі габарити і високу чутливість до вібрацій.

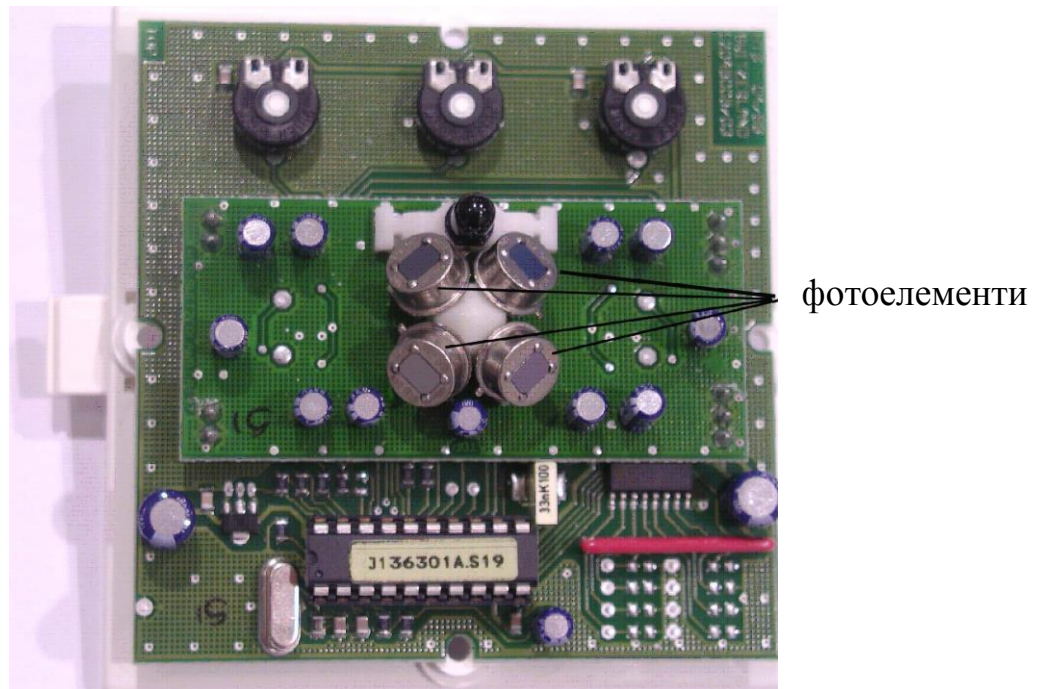


Рис 2.2. Зовнішній вигляд схеми пасивного ІЧ-датчика

Тому лише освоєння в кінці 70-х років піроелектричного приймача на основі танталату літію ( $\text{LiTaO}_3$ ), що володіє високою вольтватною чутливістю, не вимагає охолодження і що має малі габарити, дало можливість різкого прогресу у вдосконаленні ІЧ-датчиків. Сучасна конструкція піроприймача є однією або декількома пластинками з кристалічного танталату літію розміром  $0,9 \times 2$  мм, до металізованих підкладок яких підключаються входи малошумлячих польових транзисторів, що забезпечують початкове підсилення (Рис. 2.2). Високий вхідний опір визначає як чутливість, так і нижню межу частотного діапазону приймача. Підсилювач розміщується в корпусі самого приймача і складає з ним єдиний модуль. Для захисту від дії випромінювання у видимому і ближньому ІЧ-спектрі вхідне вікно піромодуля закривається тонкою пластиною з германію, що різко ослабляє випромінювання в діапазоні довжин хвиль, лежачих нижче 2-х мікрон [13].

### 2.1.2. Оптична система пасивних ІЧ-датчиків

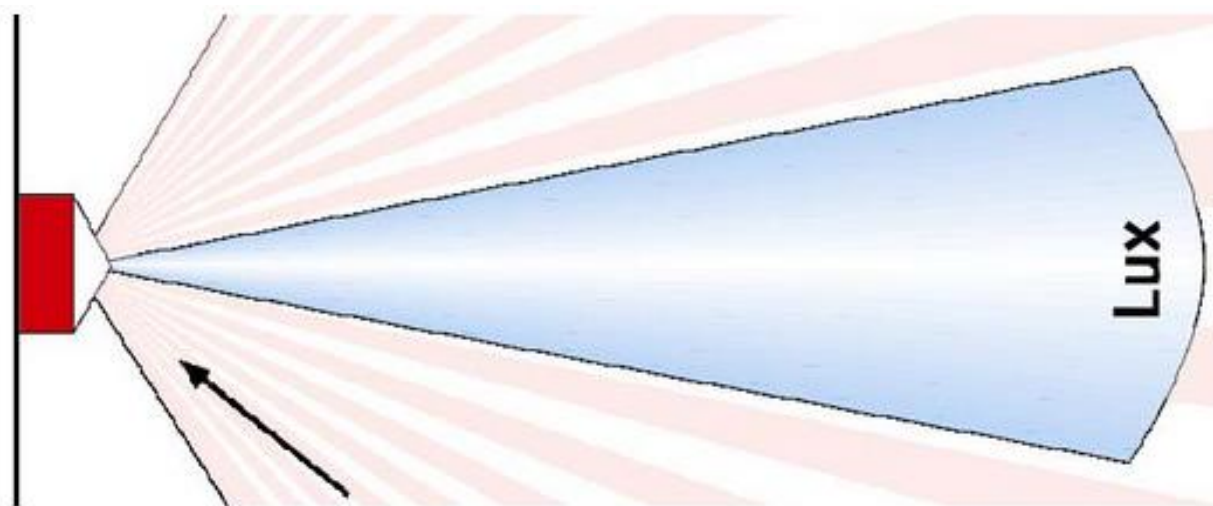
У попередньому розділі говорилося, що для модуляції потоку випромінювання при русі людини необхідно створити картину зон з максимальною і мінімальною чутливістю, найефективніше це досягається за допомогою багатопроменевої зони чутливості. Для її створення можна використовувати вхідне вікно з множинними лінзами, фокуси яких сходяться на поверхні чутливого елементу - піроприймача. Для цієї мети можливе використання звичайних опуклих лінз, проте із-за великого поглинання випромінювання матеріалом вхідного вікна, виконаного з поліетилену, сигнал в значній мірі ослабляється. Тому кращий ефект дає використання так званих лінз Френеля, що є системою концентричних прозорих і непрозорих кілець, що чергуються. Радіуси кілець пропорційні квадратному кореню з номера кільця, а відстані між сусідніми кільцями зменшуються із збільшенням номера. В результаті інтерференції сумарна амплітуда випромінювання у фокусі такої лінзи дорівнює сумі амплітуд випромінювання від кожного прозорого кільця. Якщо замість зачернення зменшити оптичну товщину відповідного кільця на половину довжини хвилі, то всі коливання, що йдуть від різних кільцевих зон, приходять в точку фокусу з однією і тією ж фазою. Тому результуюча амплітуда коливання буде сумою коливань, що приходять від всіх парних і непарних кілець. Виготовлена в такий спосіб пластинка носить назву лінзи Френеля.

Виготовлення вхідних вікон з лінзами Френеля є досить складною технологічною проблемою. Відстані між кільцями, розміри яких визначаються довжиною хвилі випромінювання тіла людини складають 8 мікрон і повинні витримуватися з точністю  $\pm 1$  мікрон, що вимагає використання високопрецизійних штампів, а матеріал вхідного вікна повинен при мінімальній товщині забезпечувати достатню жорсткість для збереження геометричних розмірів (фокусної відстані) в усіх умовах експлуатації [9].

Визначимо, як визначається число променів (зон з максимумом чутливості). Очевидно, що в датчику, призначеному для захисту об'єму, воно

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має бути максимальним, щоб закрити все приміщення - при цьому сигнал спрацьовування формується при меншій довжині маршруту пересування людини. Але чим більше променів, тим менше зміна енергії в кожному промені і тим менше сигнал в приймачі, що вимагає більшого посилення в тракті обробки сигналу і зменшує перешкодостійкість датчика. Діаметр променя на максимальній відстані має дорівнювати геометричним розмірам тіла людини - при цьому сигнал при перекритті всього променя максимальний. Тому діаметр променя, описаний в технічних умовах на ІЧ-датчик, при максимальній дальності складає 0,25-0,3м. Для створення більш "насиченої" зони виявлення використовується декілька зон, розташованих в 3-4 площинах. Якщо датчик призначений для захисту протяжних просторів (коридори, сходові марші), застосовується модифікована лінза Френеля, що створює один (два) промені, при цьому гранична відстань виявлення може досягати 25-30 метрів. Можливе створення плоскої зони типа "шторки" як в горизонтальній, так і у вертикальній площині. Такі шторки зручно використовувати, коли необхідно створити захисний бар'єр біля вікон або стіни з розвішеними на ній картинами. Існують також вхідні вікна, що створюють конусоподібні зони (Рис.2.3), що використовуються при установці ІЧ-датчика на стелі приміщення.



**Рис. 2.3. Конусоподібна зона**

### 2.1.3. Сигналоутворення в пасивних ІЧ-датчиках

Для кращого розуміння методів і алгоритмів підвищення перешкодостійкості ІЧ-датчика необхідно мати уявлення про основні параметри сигналу - його форму, амплітуду, тривалість, залежність від швидкості руху людини і температури фону.

Розглянемо одну променеву зону виявлення (рис. 2.4) довжиною 10 м з діаметром променя в основі конуса 0,3 м. Вважаємо, що людина пересікає зону по нормалі до неї з максимальною (5 м/с) і мінімальною (0,1 м/с) швидкостями при відстані від приймача 10, 5, і 1 м. Форма сигналу при перетині променя на відстані 10 м має вигляд трикутника з максимумом при повному перекритті зони. При перетині променя на меншій відстані сигнал набуває форми трапеції з крутими фронтами. Очевидно, що тривалість сигналу зворотно пропорційна швидкості руху і відстані до приймача.



Рис. 2.4. Зона чутливості датчика

Реальний сигнал відрізняється від ідеальної картини за рахунок спотворень, що вносяться трактом посилення і накладенням хаотичних шумів, що створюються температурними флуктуаціями фону. Аналіз записів спектрів, отриманий пропусканням реально записаних сигналів через спектроаналізатор фірми "Бьюль і К'ер", дозволяє визначити спектральне вікно, необхідне для пропускання сигналів, що утворюються при перетині зони в будь-якому місці у всьому діапазоні швидкостей. Воно лежить в



діапазоні від 0,1 до 15 Гц, причому на краях діапазону можливе ослаблення сигналу, оскільки піроприймач має амплітудно - частотну характеристику із спадом в області 5-10 Гц. Для компенсації спаду необхідне введення в тракт обробки сигналу спеціального коректуючого підсилювача, що забезпечує підйом АЧХ в області 5-20 Гц. Амплітуда сигналу, як вже говорилося, визначається температурним контрастом між тілом (або одягом) людини і фоном, на який направлений промінь. Оскільки температура фону змінюється вслід за зміною температури в приміщенні, то і сигнал, пропорційний різниці температур, також змінюється [9, 13].

У точці, де температура людини і фону рівні, вихідний сигнал дорівнює нулю. В області вищих температур сигнал змінює знак.

Температурний контраст залежить також від температури зовнішньої поверхні людини, тобто в основному від його одягу. Причому тут виявляється істотною наступна обставина. Якщо людина входить в приміщення, де встановлений ІЧ-датчик, ззовні, наприклад, з вулиці, де температура може істотно відрізнятись від температури в приміщенні, то в перший момент тепловий контраст може бути дуже великим. Потім, у міру "адаптації" температури одягу до температури приміщення сигнал зменшується. Але навіть після тривалого перебування в приміщенні величина сигналу залежить від типу одягу.

Аналіз залежностей показує, що є досить тривалий час, коли тепловий контраст складає менше двох градусів. І ще одна обставина. Розподіл температури по поверхні людини є нерівномірним. Найбільш близька до 36 градусів температура відкритих частин тіла - обличчя, рук, а температура поверхні одягу ближче до температури приміщення. Тому сигнал на вході піроприймача залежить від того, якою частиною тіла перекривається променева зона чутливості [3, 4].

Розгляд процесу сигналоутворення дозволяє зробити наступні висновки:

1. Амплітуда сигналу визначається температурним контрастом поверхні людини і фону і може складати від доль градуса до десятків градусів.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Форма сигналу має трикутний або трапецеїдальний вигляд, тривалість сигналу визначається місцем перетину променевої зони і при русі по нормалі до променя може складати від 0,05 до 10 сек. При русі під кутом до нормалі тривалість сигналу збільшується. Максимум спектральної щільності сигналу лежить в інтервалі від 0,15 до 5 Гц.

3. При переміщенні людини вздовж променя сигнал мінімальний і визначається лише різницею температур окремих ділянок поверхні людини і складає долі градуса.

4. При переміщенні людини між променями сигнал практично відсутній.

5. При температурі в приміщенні, близькій до температури поверхні людини, сигнал мінімальний і складає долі градуса.

6. Амплітуда сигналу в різних променях зони виявлення може істотно відрізнятися один від одного, оскільки визначається температурним контрастом тіла людини і ділянкою фону, на який направлений даний промінь. Різниця може досягати десяти градусів.

#### **2.1.4. Перешкоди в пасивних ІЧ-датчиках**

Перейдемо до аналізу дій перешкод, що можуть викликати помилкове спрацьовування ІЧ-датчика. Під перешкодою розумітимемо будь-яку дію зовнішнього середовища або внутрішні шуми приймального пристрою, не пов'язані з рухом людини в зоні чутливості датчика.

Пропонується наступна класифікація перешкод:

- теплові, обумовлені нагріванням фону при дії на нього сонячного випромінювання, конвекційних потоків повітря від роботи радіаторів, кондиціонерів, протягів;
- вібраційні, виникаючі унаслідок коливання променя чутливої зони під впливом вібрації і випадкової зміни положення датчика;
- електричні, що викликаються наведеннями від джерел електро- і радіовипромінювань на окремі елементи електронної частини датчика;
- власні, обумовлені шумами піроприймача і тракту підсилення сигналу;

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- сторонні, пов'язані з переміщенням в зоні чутливості датчика дрібних тварин (собаки, кішки, птиці), або переміщенням комах по поверхні вхідного оптичного вікна датчика.

Сюди не включені так звані "позаспектральні" перешкоди, пов'язані з дією джерел випромінювання, спектр яких лежить поза діапазоном приймача (10 мікрон), поліпшення яких здійснюється відомими методами (фільтр з германію на вході піромодуля, захисне вікно з пластмаси з межею пропускання нижче 10 мікрон, лінзи Френеля, фокусна відстань яких визначається довжиною хвилі).

Найбільш потужною і "небезпечною" перешкодою є теплова, що викликана зміною температури ділянок фону, на який направлені променеві зони чутливості. Дія сонячного випромінювання викликає локальне підвищення температури окремих ділянок стіни або підлоги приміщення. Повільна зміна не проходить через схеми фільтрації приладу, проте порівняно швидкі зміни, зв'язані, наприклад, із затінюванням сонця пролітаючими хмарами або проїздом транспорту, можуть викликати перешкоду, аналогічну сигналу від проходження людини. Амплітуда перешкоди залежить від інерційності фону, на який направлений промінь, - наприклад, час зміни температури голої бетонної стіни набагато більший, ніж дерев'яної або обклеєної шпалерами [2, 9].

Амплітуда сонячних перешкод може досягати 1,0 - 1,5 градусів, особливо в тих випадках, коли промінь направлений на малоінерційний фон, наприклад, на дерев'яну стіну або штору з тканини. Тривалість таких перешкод залежить від швидкості затінювання і може потрапити в діапазон швидкостей, характерних для руху людини. Необхідно відзначити одну істотну обставину, яка дозволяє боротися з такими перешкодами. Якщо два променя направлені на сусідні ділянки фону при відстані між ними 0,5-1,0 м, то вигляд і амплітуда перешкоджаючої дії від сонця практично однакові в кожному промені, тобто в наявності сильна кореляція перешкод, це дозволяє

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

відповідною побудовою схеми подавити цю перешкоду за рахунок віднімання сигналів.

Конвективні перешкоди обумовлені дією потоків повітря, що переміщуються, наприклад, від протягів при відкритій квартирки, щілин у вікні, а також при роботі побутових опалювальних приладів - радіаторів і кондиціонерів. Потоки повітря викликають хаотичну флуктуаційну зміну температури фону, амплітуда і частотний діапазон їх залежить від швидкості потоку повітря і характеристик фонові поверхні.

На відміну від сонячного засвічення, конвективні перешкоди від різних ділянок фону, що знаходяться навіть на відстані 0,2-0,3 м, слабо корельовані між собою і їх віднімання не дає ефекту. Електричні перешкоди виникають при включенні будь-яких джерел електро- і радіовипромінювання - вимірювальної і побутової апаратури, освітлення, електродвигунів, радіопередавальних пристроїв, а також при зміні струму в кабельній мережі, в лініях електропередач. Сильні перешкоди можуть створювати також розряди блискавок. Принцип дії ІЧ-датчика не дає можливості повністю екранувати весь корпус приладу - вхідне вікно не може бути металізоване, тому для боротьби з такими перешкодами мають бути прийняті інші заходи. Чутливість піроприймача дуже висока - при зміні температури на один градус вихідний сигнал безпосередньо з кристала складає доли мікровольта, тому наведення від джерел перешкод в декілька вольт на метр можуть викликати імпульс перешкод, що в тисячу разів перевищує вхідний сигнал. На щастя, велика частина електричних перешкод має малу тривалість або крутий фронт, що дозволяє відрізнити їх від сигналу.

Власні шуми піроприймача визначають вищу межу чутливості ІЧ-датчика. Шуми піроприймача в нашому діапазоні частот мають вигляд білого шуму, тому методи фільтрації тут не можуть бути використані. Інтенсивність шуму збільшується із збільшенням температури кристала приблизно в два рази на кожні десять градусів. Сучасні піроприймачі мають рівень власних шумів, відповідних зміні температури на 0.05-0,15 градуса.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Своєрідним джерелом перешкод в ІЧ-датчиках можуть бути комахи (таргани, мухи, оси) в разі їх переміщення по поверхні вхідного вікна. Не дивлячись на те, що їх температура зазвичай дорівнює температурі навколишнього повітря, при перекритті променя, направлено на ділянку фону з температурою, що відрізняється від температури повітря, виникає перешкоджаючий імпульс, причому динамічні характеристики його лежать в діапазоні, відповідному руху людини. Єдиний спосіб боротьби з такого роду перешкодами - знищення комах.

#### Висновки:

- Спектральний діапазон перешкод перекриває діапазон сигналів і лежить в області від доль герца до десятків герц.
- Найбільш небезпечний вигляд перешкод - сонячне засвічення фону, амплітуда їх може досягати 3-5 градусів з переважанням в області 0,1-1 Гц.
- Перешкоди від сонячного засвічення для близьких ділянок фону жорстко корельовані між собою і можуть бути ослаблені при використанні двопрменевої схеми побудови датчика.
- Конвективні перешкоди від теплових побутових приладів мають вигляд флуктуаційних випадкових коливань з амплітудою до 2-3 градусів в діапазоні частот від 1 до 20 Гц при слабкій кореляції між променями.
- Електричні перешкоди мають вигляд коротких імпульсів або ступінчастих дій з крутим фронтом, амплітуда наведеної напруги може в сотні разів перевищувати сигнал.
- Власні шуми піроприймача відповідають сигналу при зміні температури на 0,05-0,15 градуса, лежать в діапазоні частот, що перекриває діапазон сигналу і збільшуються пропорційно температурі приблизно удвічі на кожні десять градусів.
- Перешкоди від комах, що пересуваються по поверхні вхідного оптичного вікна, можуть викликати спрацьовування датчика.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.1.5. Методи, алгоритми і схемно-конструктивні рішення для підвищення перешкодостійкості пасивних ІЧ-датчиків

Проведений аналіз сигналів і перешкод дозволяє перейти до розгляду основних методів і засобів, реалізованих в сучасних ІЧ-датчиках для підвищення ефективності, тобто забезпечення високої вірогідності виявлення при мінімальній частоті помилкових тривог.

Перш за все мають бути прийняті заходи для захисту приймального пристрою - піромодуля - від дії випромінювань, лежачих поза спектральним діапазоном сигналу. Для цього використовується наступне:

- вхідне вікно піромодуля закривається пластинкою з германію, не проникного випромінювання з довжиною хвилі менш 2-х мікрон;
- вхідне вікно всього датчика виготовляється з поліетилену високої щільності, що забезпечує достатню жорсткість для збереження геометричних розмірів і в той же час не пропускає випромінювання в діапазоні довжин хвиль менше 1-3 мікрон;
- лінзи Френеля у вигляді виштампованих на поверхні вхідного вікна з поліетилену концентричних кіл, мають фокусну відстань відповідно до максимуму випромінювання, характерного для температури людини (8 мікрон). Випромінювання інших довжин хвиль "розмиватимуться", проходячи через цю лінзу і, тим самим, ослаблятимуться.

Цими заходами вдасться ослабити дію перешкод від джерел позаспектрального діапазону в тисячі разів і забезпечити можливість функціонування ІЧ-датчиків в умовах сильного сонячного засвічення, включення освітлювальних ламп і тому подібне.

Наступний комплекс заходів пов'язаний з реалізацією оптимальної фільтрації електричного сигналу, що поступає з виходу піромодуля. Як показано вище, сигнал залежно від швидкості руху людини і місця перетину променя лежить в діапазоні від 0,15 до 5 Гц, тому смуга пропускання фільтру має бути погоджена з цим діапазоном. Частоти поза цим діапазоном повинні пригнічуватися фільтрами високої і низької частот.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм оптимальної фільтрації передбачає використання не лише амплітуди сигналу (пороговий прийом), а всю енергію сигналу, тобто добуток амплітуди на тривалість. Додатковою інформативною ознакою сигналу є наявність двох фронтів - на "вході в промінь" і на його виході, що дозволяє відгородитися від багатьох перешкод, що мають вигляд "сходинки".

Потужним засобом захисту від теплових перешкод є використання двомайданчикового піроприймача з формуванням двопроменевої зони чутливості. При цьому сигнал при проході людини виникає послідовно в кожному з двох променів, а теплові перешкоди (при близькому розташуванні променів) в значній мірі корельовані і можуть бути ослаблені при використанні простої схеми віднімання.

Нажаль, висока міра кореляції характерна тільки для "повільних" перешкод (прогрівання фону від сонячного засвічення, від зміни температури в приміщенні); для конвекційних перешкод (протяги, кондиціонери) ефекту придушення отримати не вдається.

Електричні перешкоди, як показано в попередньому розділі, мають невелику тривалість, або крутий фронт. Ці їх ознаки дозволяють застосувати алгоритм налаштування, що полягає у виділенні крутого фронту і блокування вихідного пристрою на час їх дії. Таким чином досягається стійка робота датчика навіть в умовах інтенсивних електро- і радіоперешкод в діапазоні від сотень кілогерц і до одного гигагерца при напруженості поля до 10В/м.

Наступним ефективним методом підвищення перешкодостійкості є використання схеми "рахунку імпульсів". Оскільки діаграма чутливості для найпоширеніших "об'ємних" датчиків має багатопроменеву структуру, то при русі людини він пересікає послідовно декілька променів, причому число їх тим більше, чим "насиченіша" зона виявлення і чим більше маршрут руху людини. Реалізація цього алгоритму різна в різних модифікаціях датчиків. Найчастіше використовується ручна установка перемикача на рахунок певного числа імпульсів (від одного до чотирьох). Очевидно, що чим від

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

більшого числа імпульсів спрацьовує датчик, тим вище його перешкодостійкість. Але також очевидно, що в цьому випадку для спрацьовування датчика людина повинна пройти більшу дорогу (перетнути декілька променів) - при цьому знижується охоронна здатність датчика і з'являються "мертві зони". У досконаліших типах датчиків встановлений спеціальний сигнальний процесор, що виконує обробку "тонкої структури" сигналу з метою виділення його характерних особливостей. Наприклад, при близькому проходженні людини від датчика він неминуче пересікає декілька променів, тому сигнал має вигляд послідовності коротких імпульсів. При пересіченні променя на граничній відстані сигнал має значно більшу тривалість і пологі фронти. Процесор, наділений функцією "інтелекту", здатний провести класифікацію сигналів за заздалегідь сформульованими критеріями і відрізнити їх від перешкодових дій [9].

У останніх модифікаціях датчиків для підвищення перешкодостійкості застосовується схема "адаптованого прийому", тобто поріг спрацьовування автоматично відстежує рівень шуму і при його підвищенні також збільшується. Проте цей спосіб не вільний від недоліків. Оскільки при багатопроменевій діаграмі чутливості можливо, що один або декілька променів будуть направлені на ділянку інтенсивних перешкод, (наприклад, на розтруб кондиціонера), тоді буде встановлена на мінімум чутливість всього приладу, у тому числі і тих променів, де інтенсивність перешкод мінімальна. Тим самим буде зменшена загальна вірогідність виявлення всього приладу. Для усунення цього недоліку пропонується перед включенням приладу "виявляти" промені з максимальним рівнем шуму і затінювати їх за допомогою спеціальних непрозорих екранів (шляхом заклеювання скотчем з внутрішньої сторони вхідного вікна). У деяких модифікаціях приладів вони входять в комплект постачання.

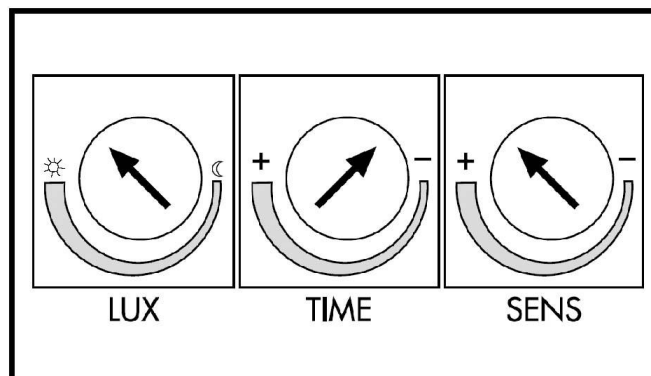
					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 2.1.6. Методи захисту від саботажу

Під саботажем розуміється спроба блокування датчика, тобто позбавлення його здатності реагувати на рух людини в зоні виявлення. Розглянемо наступні можливі методи саботажу і міри боротьби з ними:

1. Чутливість датчика може бути зменшена або виведена в нуль шляхом установки регулювальника чутливості в мінімальне положення (Рис. 2.5). Для боротьби з цим всі органи регулювання встановлюються усередині корпусу приладу і доступ до них можливий лише при знятті кришки, яка сама знаходиться під блокуванням контактного датчика, включеного в загальний ланцюг сигналізації. Таким чином, проникнення до органів регулювання (і схеми приладу) неможливе без появи сигналу тривоги.



**Рис. 2.5. Блок керування пасивним ІЧ-датчиком**

2. Оскільки датчик є пасивним приладом, то установка непрозорих екранів поблизу вхідного оптичного вікна або на його поверхні, затінює зону виявлення і датчик перестає реагувати на рух людини. Кваліфікований порушник може заклеїти вхідне вікно будь-яким непрозорим в ІЧ-області матеріалом (наприклад, аркушем паперу) або закрасити фарбою, за кольором близькою до кольору поверхні вхідного вікна. При цьому датчик нормально "братиметься під охорону" і нейтралізація його охоронних здібностей не буде зафіксована центральною апаратурою сигналізації. У тих організаціях, де перед здачею приміщення під охорону обов'язково перевіряється його працездатність шляхом проходження в зоні виявлення, така спроба саботажу

легко виявляється. Але, на жаль, така процедура перевірки практикується далеко не скрізь. Для усунення цієї можливості в останніх модифікаціях датчиків застосовується спеціальна схема "антимаскування". Вона є випромінюючим світло діодом і приймачем, розміщеними в корпусі приладу на лицьовій стороні, і їх оптичні вікна направлені назовні. Коли вікно не загороджене жодною перешкодою, приймач не отримує у відповідь сигналу, оскільки його чутливість недостатньо велика. Але коли поблизу нього з'являється перешкода, відбитої енергії вистачає для включення сигналу "саботаж" або "перешкода".

### 2.1.7. Структурна схема пасивного ІЧ-датчика

Оптичний сигнал, пропорційний різниці температур людини і фону, поступає через вхідне оптичне вікно на піромодуль. Багаточисельні лінзи Френеля, виштамповані на поліетиленовому вхідному вікні, створюють в навколишньому просторі багатопроменеву віялову зону виявлення. Фокуси всіх променів сходяться на поверхні двохмайданчикового піромодуля. Кожен майданчик піроелемента перетворює тепловий потік в електричний сигнал, який після посилення поступає на схему віднімання. Таким чином, кожен елементарний промінь складається з двох променів і схема віднімання дозволяє в значній мірі ослабити дію найнебезпечнішої перешкоди - теплової і зокрема - сонячної. Сигнал з піромодуля поступає на підсилювач, що виконує також функцію смугового фільтру, що не пропускає дуже повільні і дуже швидкі сигнали, характерні для деяких перешкодових дій. Подальша обробка сигналу виконується в блоці амплітудно-часового дискримінатора, що пропускає лише ті сигнали, тривалість і амплітуда яких відповідає сигналу від руху людини. Для захисту від перешкод з крутим фронтом введений блок - аналізатор тривалості фронту сигналу. Під час вступу сигналу з дуже коротким фронтом, характерним для електричних і радіо - перешкод, він спрацьовує і на якийсь час блокує подальше проходження сигналу. Сигнал з параметрами, що відповідають критерію виявлення,

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поступає на вхід формувача вихідного сигналу, а після нього на вхід лічильника числа імпульсів. Як вже говорилося, ця схема захищає датчик від одиночних перешкод і підвищує загальну перешкодостійкість датчика.

І, нарешті, вихідне реле тривоги розмиканням контактів подає сигнал тривоги на приймальну апаратуру.

Пристрій "антимаскінгу" складається з схеми генератора імпульсів, що викликає випромінювання світлодіода в близькому ІЧ-діапазоні і що сприймає відбите випромінювання ІЧ-приймача. Якщо амплітуда сигналу, що приймається, перевершує заданий поріг, що відповідає наявності близько встановленої перешкоди - екрану, пороговий пристрій спрацьовує і ініціює спрацьовування вихідного реле. У деяких модифікаціях датчиків є окреме реле для формування сигналу "саботаж".

Вторинне джерело живлення забезпечує необхідну стабілізацію живлення всієї схеми. [2- 4]

## **2.2. Активні ІЧ-датчики**

### **2.2.1. Принцип дії активних ІЧ-датчиків**

Схема роботи активних променевих бар'єрів досить проста: передавач створює невидимий для ока промінь, а приймач приймає випромінюваний потік. При пересіченні цього променя відбувається втрата енергії на приймачі і, як наслідок, спостерігається спрацьовування сповіщувача, тобто замикання або розмикання релейного виходу тривоги на приймачі (рис. 2.6). Довжина хвилі променя варіюється у різних виробників і лежить в діапазоні від 0,88 до 1,1 мікрона. При цьому промінь носить не постійний, а імпульсний характер, що дозволяє захистити сповіщувач від хибних спрацьовувань, що викликані постійними зовнішніми джерелами перешкод.

Що важливо враховувати при використанні такого типу датчиків. Як правило, активні променеві бар'єри дозволяють перекрити прямолінійні ділянки периметра різної протяжності (наприклад, ворота, дверні отвори, простори, що не мають фізичного обгороджування), а також захистити

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забори від перелазу або перекидання. При виборі місця установки сповіщувачів є не так багато обмежень: для подібних сповіщувачів важлива прямолінійність ділянки і його рівномірність, відсутність в зоні проходження променів сторонніх предметів (дерев, чагарників і так далі). Якщо на ділянці є піднесеність, то вона ризикує перекрити хід променів, і навпаки, якщо зустрічається западина – у зловмисника буде шанс здолати бар'єр під променями. Проблема вирішувана: досить додатково розбити дистанцію із складним рельєфом на декілька невеликих прямолінійних ділянок [3, 4, 9].

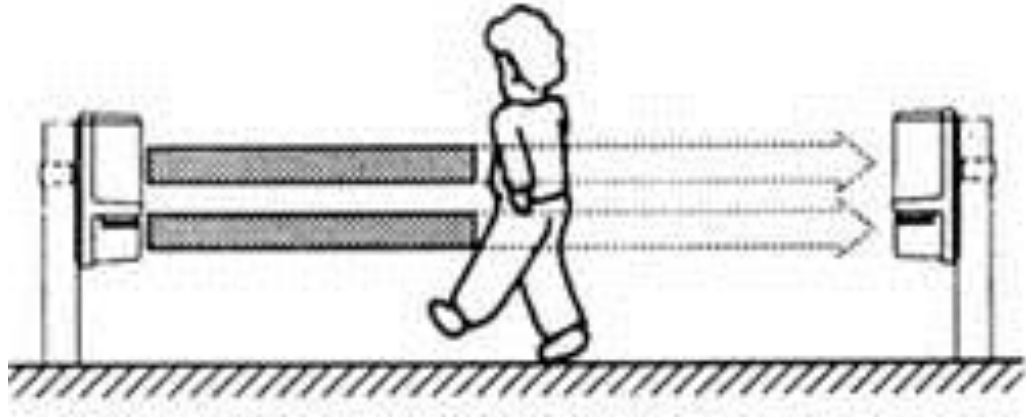


Рис. 2.6. Принцип дії активного ІЧ-датчика

Не менш важливим чинником, який обов'язково слід враховувати на етапі проектування системи, вважається відсутність прямих сонячних засвічень на приймачі. Їх наявність у ряді випадків може спровокувати помилкові спрацьовування або стати причиною пропуску тривоги. Вірогідність виникнення подібної проблеми, як правило, зведена до мінімуму провідними виробниками даного типу устаткування, що у свою чергу обумовлює і вищу вартість їх продукції.

### 2.2.2. Особливості використання активних ІЧ-датчиків

Використання активних променевих бар'єрів дозволяє створити досить вузьку зону виявлення на чималих відстанях (до 300 м). Ефект виявлення досягається за рахунок вузького фокусування променя, сформованого передавачем. Проте сильне звуження променя викликає складнощі в ході

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інсталяції і може привести до нестійкої роботи при змінах погодних умов. Тому оптимальною слід рахувати відстань, що не перевищує 200 м.

Спочатку широко використовувалися однопроменеві сповіщувачі, але зіткнувшись з їх поганою захищеністю від помилкових спрацьовувань (прилади реагували то на падаюче листя, то на пролітаючих птахів) і надмірною чутливістю до зміни метеоумов, всі провідні виробники поступово перейшли до багатопроменевих схем роботи сповіщувачів (Рис. 2.7) (як правило, 2-променевих, рідше 4-променевих). У подібній комбінації промені працюють за схемою "І" (тобто одночасне пересічення всіх променів). Таким чином, якщо виявиться перекритий лише один з них, – сповіщувач не стане реагувати. А оскільки промені розташовані досить близько один до одного, то порушник неминуче пересіче обидва, викликавши тим самим сигнал тривоги.

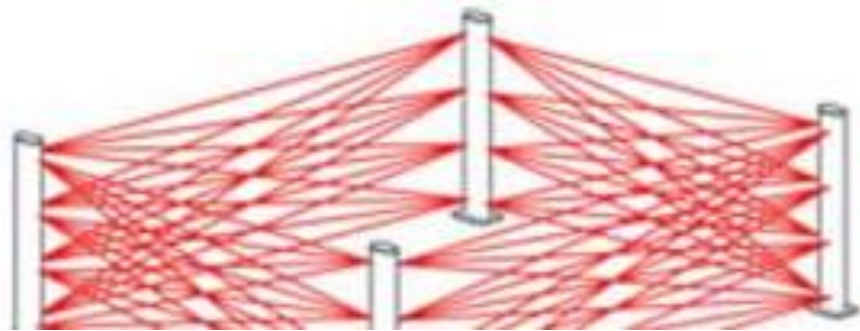


Рис. 2.7. Багатопроменевий ІЧ-бар'єр

Коли необхідно створити високі бар'єри або доводиться об'єднувати декілька сповіщувачів в єдину систему, стає очевидною ще одна проблема – взаємний вплив передавачів від різних комплектів на "чужі" приймачі. Виробники вирішують її неоднаково: деякі рекомендують розташовувати такі приймачі з протилежних сторін бар'єру, інші пропонують спеціальні моделі, що володіють можливістю підстроювання частоти променів (зазвичай частот – 4), або ж використовувати спеціальні системи синхронізації приймачів та передатчиків від різних виробників.

Критичним для роботи сповіщувача є і час переривання променя. Як правило, в найбільш досконалих і дорогих моделях цей показник регулюється в досить широкому діапазоні (від 35 до 1500 мс). Фактично він означає, наскільки швидкі об'єкти зможе фіксувати сповіщувач, ініціюючи тривогу. Необхідна величина часу переривання променя на конкретному об'єкті визначається часом, який необхідний порушникові, щоб здолати засоби фізичного захисту (наприклад, перелізти через паркан).

Найбільшим недоліком даного типу сповіщувачів залишається сильна залежність дальності дії від умов довкілля. Річ у тому, що ІЧ-випромінювання дуже сильно поглинається частками води, тому інтенсивний дощ, туман, сніг приводять до значної втрати енергії променя, аж до повного його розсіювання, і, як наслідок, непрацездатності сповіщувача. Єдиний спосіб, який використовують виробники для боротьби з подібним явищем, – це використання випромінювачів з великим запасом по потужності. В результаті, не дивлячись на значне зниження енергії потоку, що приймається, при погіршенні погодних умов, можливе зберігання працездатності приладу.

Істотним чинником, що впливає на надійність будь-якої периметральної системи, вважається стійкість до електромагнітного випромінювання, а головне – до грозових розрядів, які можуть стати причиною виходу зі всього охоронного комплексу. Тому при виборі типу периметральних сповіщувачів слід звернути особливу увагу на міру захищеності виробів від вищезгаданих перешкод (не менше 14 кВ) [9].

Основна маса представлених на вітчизняному ринку активних променевих бар'єрів мають всепогодне виконання (як правило, ІР-54 і вище) і можуть працювати в досить широкому діапазоні температур. Це дозволяє використовувати їх в більшості регіонів України та Росії, за винятком деяких північних і північно-східних районів. Проте існують моделі, в яких цей діапазон може бути розширений до -60 °С за рахунок використання додаткових вбудованих обігрівачів.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.2.3. Монтаж та налаштування ІЧ-бар'єра

Однією з головних переваг активних променевих бар'єрів вважається простота монтажу і налаштування. Після закріплення бази або кронштейна і подачі живлення (зазвичай від 12 до 24 В постійного струму) інстальатор має можливість від'юстирувати (як правило  $\pm 90^\circ$  у горизонтальній площині,  $\pm 10^\circ$  у вертикальній) приймачі і передавачі на максимум енергії, що приймається. Для цього передбачені різні способи: візуальне налаштування, налаштування за допомогою вольтметра або спеціального тестера, світлова і звукова індикація рівня енергії, отримуваної приймальною частиною сповіщувача. У більшості багатопроменевих систем налаштування променів здійснюється окремо для кожного променя. Подібний метод налаштування гарантує найбільш ефективну і стабільну роботу сповіщувачів [9, 10].

Монтажна підстава (стовп, кронштейн, фундамент і тому подібне) має бути достатньо стійкою, інакше під час сильних вітрів або сезонних рухів ґрунту підвищується вірогідність помилкових спрацьовувань сповіщувачів – із-за зсуву приймача або передавача відносно первинного положення. Бажано, щоб в безпосередній близькості від зони проходження променів були відсутні відзеркалюючі поверхні (або знаходилися не ближче 25–45 см). Інакше виникає небезпека інтерференції прямого і відбитого променів на приймачі - результатом може стати або пропуск цілі, або хибне спрацьовування.

Місце установки приймального елемента не повинне потрапляти під прямі сонячні промені або під дію якого-небудь стороннього джерела енергії в ІЧ-спектрі (близько 1 мкм). Інакше, не дивлячись на імпульсний характер променя, робота сповіщувача може виявитися нестабільною.

### В и с н о в к и

Розглянуто особливості пасивних та активних ІЧ-датчиків. Як основні недоліки слід зазначити вузькість і лінійність зони виявлення, яка декілька обмежує потенціал використання, а також залежність стійкого характеру

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи від зовнішніх погодних умов. До плюсів, поза сумнівом, відноситься простота монтажу і налаштування, висока надійність і захищеність від помилкових спрацьовувань, особливо у багатопроменевих моделей, а також невисока вартість системи з розрахунку на одиницю довжини периметра, що охороняється. Повертаючись до вже згаданих недоліків активних променевих бар'єрів, було б несправедливо не відзначити, що останні розробки провідних зарубіжних виробників (зокрема, завдяки використанню нових цифрових технологій) дозволяють вирішити багато з вказаних проблем і значно розширюють сферу застосування сповіщувачів даного типу.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ФОТОПРИЙМАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

#### 3.1. Принцип роботи фотоприймальних пристроїв

Робота фотоприймачів заснована на використанні внутрішнього фотоефекту в твердих тілах. Кванти, що поглинаються напівпровідником, звільняють носії заряду атомів ґратки або атомів домішок. Оскільки для кожного з цих переходів необхідна деяка мінімальна енергія, характерна для даного матеріалу, кожний тип фотоприймача має визначену довгохвильову межу  $\lambda_{cp}$ , що визначається за формулою:

$$\lambda_{cp} = 1,24 / (E_2 - E_1), \quad (3.1)$$

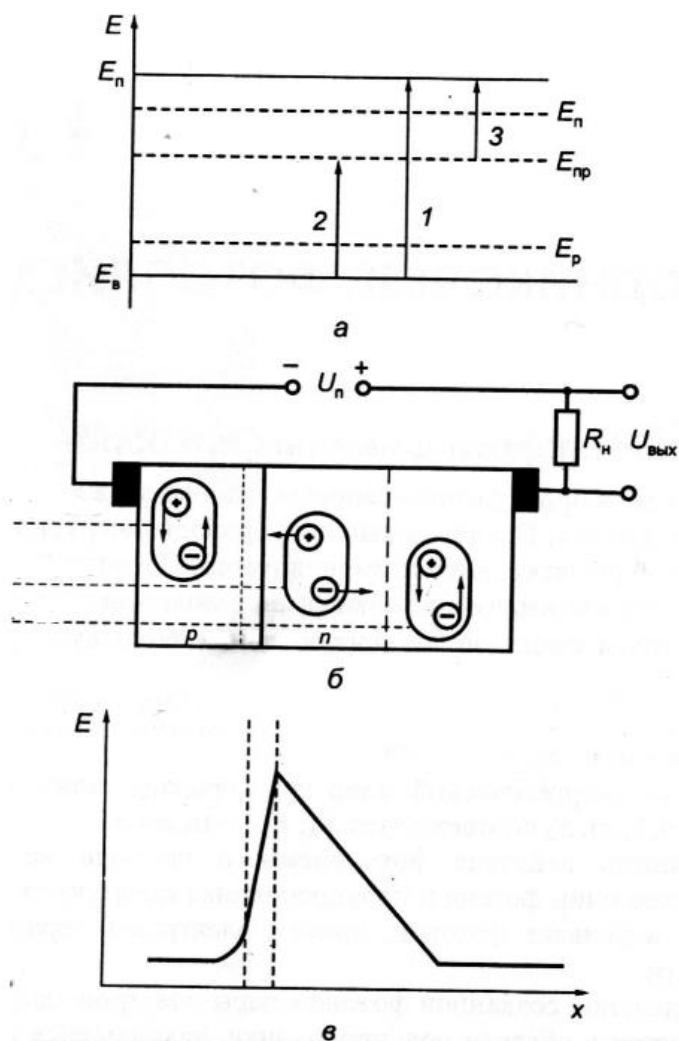
де  $\lambda_{cp}$  виражається в мкм;  $E_2, E_1$  - в еВ.

Різниця  $(E_2 - E_1)$  - енергетичний зазор при переході "зона-зона" або "домішковий рівень-зона" (рис.3.1, а).  $E_2$  відповідає  $E_n$ ,  $E_1$  - те ж саме  $E_v$ .

Розглянемо принцип дії фотоприймального приладу на основі  $p$ - $n$ -переходу (рис. 3.1 б). При поглинанні фотону в напівпровіднику виникають пари електрон-дірка. При їх розділенні виникає фотострум, причому електрони переміщуються в  $n$ -області, а дірки - в  $p$ -області [9]

Вірогідність розділення створеної фотоном пари електрон-дірка вища у тому випадку, коли ця пара виникає в області напівпровідника, що знаходиться під дією електричного поля. Альтернативою розділення є звичайна рекомбінація пари електрон-дірка, при якій не відбувається будь-якого зміщення заряду і, таким чином, не вноситься змін до фотоструму. Електричне поле розподіляється в кристалі напівпровідника нерівномірно. В дифузійних областях  $p$ - і  $n$ - типів поле набагато слабше, ніж в області між ними, що відома під назвою "збідненого шару". Для ефективної роботи фотоприймача необхідно, щоб найбільше число фотонів поглиналося в збідненому шарі, тобто фотони не повинні поглинатися, доки не вийшли за межі збідненого шару [9].

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рис. 3.1. Принцип дії фотоприймача:**

**а - енергетична діаграма; б - процеси в  $p$ - $n$ -переході; в - розподілення електричного поля в структурі;  $E_{пр}$  - енергія домішкового рівня; 1–перехід "зона-зона"; 2–перехід "валентна зона–домішковий рівень"; 3–перехід "домішковий рівень–зона провідності"**

Глибина проникнення фотона в напівпровідник до поглинання залежить від його довжини хвилі. Фотони з малою довжиною хвилі поглинаються поблизу поверхні, а фотони з більшою довжиною хвилі можуть проникати через всю товщину кристалу. Тому для забезпечення широкої спектральної характеристики необхідно, щоб кристал фотодіода мав дуже тонкий  $p$ -шар, що допускає проникнення фотонів з малою довжиною хвилі, і товстий  $n$ -шар для отримання максимального фотоструму від довгохвильових фотонів [9].

Товщина збідненої області залежить від питомого опору напівпровідника в цій області і від зворотного зміщення. Збіднений шар існує і в тому випадку, коли зворотне зміщення не прикладене. Це обумовлено наявністю "вбудованого" поля, яке виникає внаслідок дифузії через перехід неосновних носіїв. Напруга зворотного зміщення розширює збіднену область.

Розміри збідненого шару при будь-якій напрузі більше в тих приладах, у яких поблизу  $p$ - $n$ -переходу матеріал має більший питомий опір. В той самий час на обох протилежних поверхнях кристалу для виготовлення омичних контактів необхідний малий питомий опір. Фотоприймачі з  $p$ - $n$ - переходом виготовляють методом дифузії домішок  $p$ -типу в матеріал  $n$ -типу з малим питомим опором. Мала товщина дифузійного  $p$ -шару забезпечує високу чутливість до фотонів з малою довжиною хвилі, але, щоб розширити збіднену область для створення високої чутливості до фотонів з великою довжиною хвилі, необхідне високе зворотне зміщення. Глибока дифузія домішок  $p$ -типу погіршує чутливість до випромінювання з малою довжиною хвилі, але завдяки створенню "плавного" переходу дає можливість зменшити напругу зміщення, необхідну для забезпечення гарної чутливості до випромінювання з великою довжиною хвилі. Для збільшення чутливості до фотонів з малою та великою довжинами хвиль при низькому зворотному зміщенні між  $p$ - та  $n$ - областями використовують шар з високим питомим опором, що отримав назву  $i$ -шару. Фотоприймачі, що мають  $i$ -шар, отримали назву  $p$ - $i$ - $n$ -структур. Такий пристрій має тонку дифузійну  $p$ -область (на яку падає потік випромінювання) і більш товсту дифузійну  $n$ -область з іншого боку високоомної кремнієвої пластини. У фотоприймачах з  $p$ - $i$ - $n$ -структурою  $i$ -шар має настільки високий питомий опір, що навіть при нульовому зміщенні збіднений шар простягається від  $p$ -шару приблизно до половини глибини  $i$ -шару. При зворотному зміщенні до 5 В збіднення простягається до  $n$ -шару і спостерігається ефект "змикання". Оскільки пробивна напруга

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

перевищує 200 В, часто бажано встановлювати режим роботи при зворотних напругах, що перевищують напругу змикання, щоб підтримувати повне збіднення  $i$ -шару навіть при високих рівнях потоку випромінювання. Це забезпечує найкращу лінійність та швидкодію [14].

Якість фотоприймача може бути оцінена введенням параметру *квантова ефективність*. В ідеальному випадку кожний фотон має генерувати один електрон фотоструму. Квантова ефективність  $\eta$ , таким чином, вимірюється як кількість електронів на фотон.

На практиці часто використовують в якості основного робочого параметра фоточутливість  $S_\phi$ :

$$S_\phi = \eta(\lambda / 1,24) = I_\phi / \Phi_e, \quad (3.2)$$

де  $S_\phi$ , А/Вт;  $\lambda$  - довжина хвилі фотону, мкм;  $I_\phi$  - фотострум, А;  $\Phi_e$  - потік випромінювання, Вт [9].

## 3.2. Характеристики, параметри та моделі фотоприймачів

### 3.2.1. Параметри фотоприймачів

Найважливішим параметром фотоприймача є *чутливість*. Цей параметр можна вважати аналогічним коефіцієнту підсилення в приладах з електронною провідністю. В загальному випадку чутливість фотоприймача відображає зміну електричного стану на виході фотоприймача при подачі на його вхід одиничного оптичного сигналу.

Оптичне випромінювання може характеризуватися енергетичними та світловими параметрами. У відповідності з характеризуючим параметром розрізняють чутливість фотоприймача до потоку випромінювання  $S_{\Phi_e}$ , світлового потоку  $S_{\Phi_v}$ , опроміненості  $S_{E_e}$  і до освітленості  $S_{E_v}$ .

В залежності від електричного параметру на виході фотоприймача розрізняють струмову та вольтову чутливості фотоприймача. Якщо

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

величиною, що вимірюється, є фотострум, то маємо струмову чутливість ( $S_I$ ). Чутливість приймача, у якого величиною, що вимірюється, є напруга фотосигналу, називається вольтовою чутливістю ( $S_V$ ).

Приклади визначення чутливості фотоприймача приведені у виразах:

$$S_{I\Phi_V} = I_\Phi / \Phi_V; \quad S_{IE_V} = I_\Phi / E_V; \quad S_{V\Phi_e} = U_\Phi / \Phi_e; \quad S_{VE_e} = U_\Phi / E_e. \quad (3.3)$$

Чутливість фотоприймача не є постійною величиною і залежить, також, від параметрів випромінювання. Для врахування цієї залежності вводять поняття статичної та динамічної диференціальної чутливості фотоприймача, при цьому статична чутливість визначається співвідношенням постійних значень вимірюваних величин.

Чутливість залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання. Тому розрізняють інтегральну та монохроматичну чутливість фотоприймача до немонохроматичного випромінювання заданого спектрального складу. Монохроматична чутливість-чутливість фотоприймача до монохроматичного випромінювання.

### 3.2.2. Характеристики фотоприймачів

Основними характеристиками фотоприймачів є вольт-амперна, спектральна і енергетична характеристики.

*ВАХ* - залежність напруги на виході фотоприймача від вихідного струму (фотоструму) при заданому потоці випромінювання. *Спектральна характеристика* - залежність чутливості фотоприймача від довжини хвилі падаючого на фотоприймач монохроматичного випромінювання. *Енергетична характеристика* показує залежність фотоструму від потоку випромінювання, що падає на фотоприймач. Енергетична характеристика описується, як правило, ступеневою функцією виду:

$$I_\Phi = \Phi^n. \quad (3.4)$$

Показник ступеня  $n$  характеризує лінійність енергетичної характеристики. При  $n=1$  характеристика лінійна; область значень  $\Phi$ , в якій

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ця умова виконується, визначає динамічний діапазон  $\Delta\Phi$  лінійності фотоприймача. Динамічний діапазон визначається в децибелах:

$$\Delta\Phi=10\lg\Phi_{\max}/\Phi_{\min} \quad (3.5)$$

Довгохвильова межа спектру  $\lambda_{\text{дп}}$  визначає максимальну довжину хвилі падаючого на фотоприймач випромінювання; короткохвильова межа  $\lambda_{\text{к}}$  обумовлена зростанням поглинання випромінювання в пасивних областях структури при зменшенні довжини хвилі [9].

### 3.2.3. Параметри фотоприймача як елемента оптопар

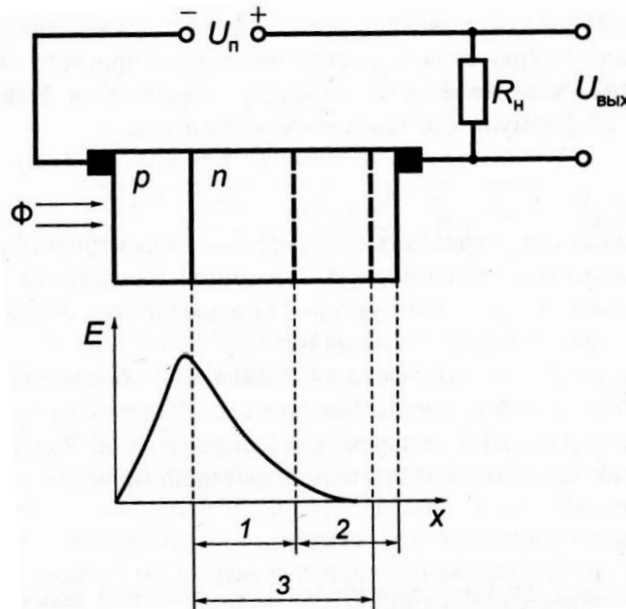
В оптопарах фотоприймач працює одночасно з випромінювачем, частіше за все з ІЧ-діодом. Випромінювачі, що використовуються в оптопарах, мають досить вузький спектр випромінювання. У зв'язку з цим для фотоприймача тут не важливий конкретний вигляд спектральної характеристики, втрачають смисл інтегральні (за спектром) параметри. Істотно, щоб чутливість була максимальною на робочій довжині хвилі використовуваного випромінювача.

Швидкодія фотоприймача в оптопарі характеризується часом переключення  $t_{\text{пер}}$ . Основні класи використовуваних в наш час фотоприймачів мають  $t_{\text{пер}}=(10^{-5}...10^{-7})$  с; у швидкодіючих сучасних фотоприймачах  $t_{\text{пер}}=(10^{-8}...10^{-10})$  с; перспективи оптоелектроніки потребують від фотоприймачів просування в область  $t_{\text{пер}}=(10^{-10}...10^{-12})$  с. Режим високої швидкодії не реалізується для високоомного навантаження, оскільки час переключення при цьому визначається повільним процесом заряду ємності фотоприймача. Крім того, при роботі з потоками випромінювання поруч з  $\Phi_{\text{гр}}$  необхідні опори навантаження близько  $10^7$  Ом, тоді час заряду ємності фотоприймача  $C=(5...20)$  пФ складає  $(10^{-4}...10^{-5})$  с. В результаті виходить, що висока швидкодія при роботі фотоприймача в "граничному режимі" (при  $\Phi=\Phi_{\text{гр}}$  і малих  $I_{\text{ф}}$ ) практично не досяжна. Також, при використанні фотоприймачів в оптопарах граничні параметри виявляються другорядними [14].

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3. Фотодіоди на основі $p$ - $n$ -переходу

Спрощена структура фотодіода на основі  $p$ - $n$ -переходу приведена на рис. 3.2. Такий пристрій являє собою зворотно-зміщений  $p$ - $n$ -перехід. Важливими властивостями такого переходу є наявність збідненої носіями області переходу, що концентрує відносно сильне поле, і області поглинання, де поглинається падаюче світло (захоплюються фотони).



**Рис. 3.2. Структура  $p$ - $n$ -переходу:**

**1 - збіднена область; 2 - дифузійна область; 3 - область поглинання;  
 $E$  - напруженість електричного поля;  $x$  - відстань**

Збіднена область утворюється нерухожими позитивно зарядженими атомами акцепторів в  $p$ -області. Ширина збідненої області залежить від концентрації легуючих домішок. Чим менше домішок, тим ширше збіднений шар. Положення та ширина поглинаючої області залежать від довжини хвилі падаючого світла та від матеріалу, з якого виготовлено діод.

Чим сильніше поглинається світло, тим тоньше поглинаюча область. Ця область може розповсюджуватись на весь діод, якщо світло поглинається слабо. Коли поглинаються фотони, електрони переходять з валентної зони в зону провідності. Так утворюється електронно-діркова пара. Якщо така пара утворюється в збідненій області, то носії розділятимуться (дрейфуватимуть)

під впливом поля в збідненій області. В результаті в ланцюзі навантаження потече струм. Якщо пара утворюється поза збідненою областю, то дірка дифундуватиме в бік збідненої області. Оскільки дифузія у порівнянні з дрейфом відбувається дуже повільно, бажано, щоб більша частина світла поглиналася в збідненій області. Таким чином, бажано створити збіднену область протяжною, зменшуючи концентрацію легуючої домішки в  $n$ -шарі. Це потребує настільки слабого легування  $n$ -шару, що його можна вважати власним. Вольт-амперні характеристики фотодіода приведені на рис. 3.3.

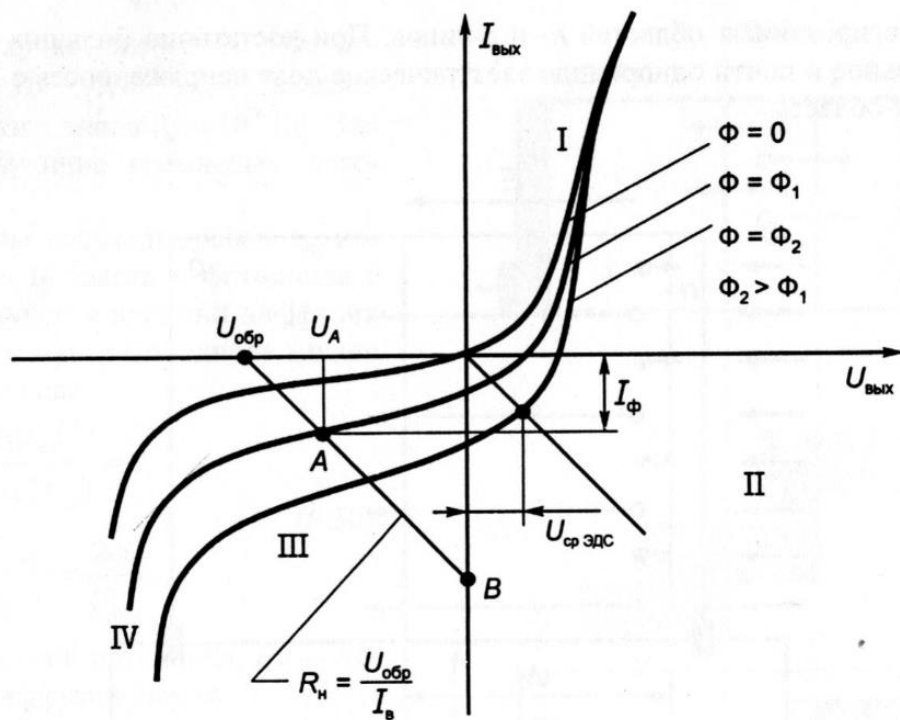


Рис 3.3. ВАХ фотодіода

Проміжок I відповідає фотодифузійній області. Тут до  $p$ - $n$ -переходу прикладена пряма напруга і дифузійна складова струму повністю пригнічує фотострум ( $I_{p-n} \gg I_\phi$ ), що робить неможливим керування фотострумом.

В області II реалізується фотогальванічний режим. Тут струм фотодіода визначається з виразу:

$$I_{\phi d} = U / R_H = I_\phi - I_{p-n} = I_\phi(\Phi) - I_0 \exp(U / \phi_T - 1), \quad (3.6)$$



де  $\phi_T$  - тепловий потенціал;  $U$  - напруга на діоді;  $I_0$  – зворотній струм діода при насиченні.

В режимі холостого ходу ( $R_n \rightarrow \infty$ ) з приведенного виразу можна визначити максимальне значення фотоелектрорушійна напруга  $U_{cp \text{ ЕРС}}$  при визначеному світловому потоці:

$$U_{xx} = \phi_T \ln \left( 1 + \frac{I_\phi}{I_0} \right). \quad (3.7)$$

При короткому замиканні напруга на фотодіоді дорівнює нулю, а струм фотодіода утворюється потоком фотонів. У кремнієвих фотодіодах значення фото-ЕРС складає 0,5...0,55 В.

В фотодіодному режимі (область III) використовується джерело зворотної напруги  $U_{звор}$ . В цьому режимі потенційний бар'єр виникає і струм через перехід  $I_{p-n}$  визначається струмом  $I_0$ , який протікає при відсутності випромінювання. При дії на  $p-n$ -перехід світлового потоку струм фотодіода:

$$I_{фд} = I_\phi + I_0 \approx I_\phi.$$

ВАХ навантаженого резистора являє собою пряму лінію, рівняння якої має вигляд:

$$U_{звор} - I_\phi R_n = U_A,$$

де  $U_A$  – напруга на фотодіоді в робочій точці А, що відповідає світловому потоку  $\Phi_1$ .

В робочому діапазоні зворотних напруг фотострум практично не залежить від опору навантаження, опір діода постійному струмові змінюється у великих межах при змінах світлового потоку, тому іноді замість терміну "фотодіодний режим" користуються терміном "фоторезисторний режим". Опір фотодіода змінному струмові на розглянутому проміжку великий і має тенденцію до зменшення при великих значеннях світлового потоку.

При великих значеннях зворотної напруги (проміжок IV) спостерігається лавинний пробій  $p$ - $n$ -переходу. Якщо за допомогою опору навантаження обмежити великий зворотній струм  $p$ - $n$ -переходу, що спостерігається в даному випадку, то можливо реалізувати фотоприймач, що використовує оборотний електричний прилад, що підсилює фотострум у декілька разів у порівнянні з фотострумом у фотодіодному режимі. Цей ефект використовують у лавинних фотодіодах (ЛФД) [14].

### 3.4. Фотодіоди з $p$ - $i$ - $n$ -структурою

Розширення частотного діапазону фотодіоду ( $W$ ) без зниження його чутливості можливе в  $p$ - $i$ - $n$ -структурах (рис. 3.4).

В  $p$ - $i$ - $n$ -структурі  $i$  - область заключена між двома областями протилежного типу електропровідності і має питомий опір у  $(10^6 \dots 10^7)$  разів більше, ніж опір легованих областей  $n$ - і  $p$ -типів. При достатньо великих зворотних напругах сильне і майже однорідне електричне поле напруженістю  $E$  розповсюджується на всю  $i$ -область.

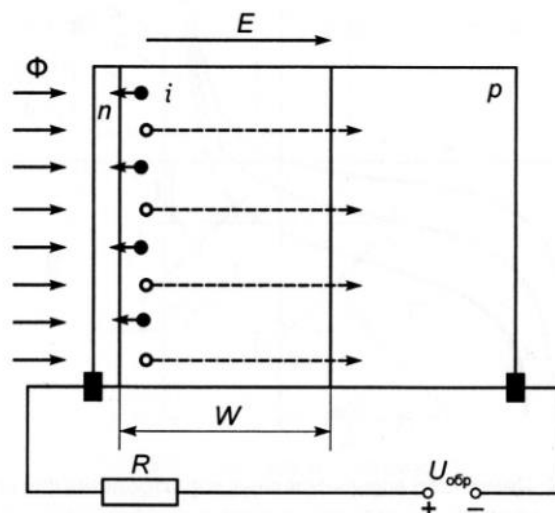
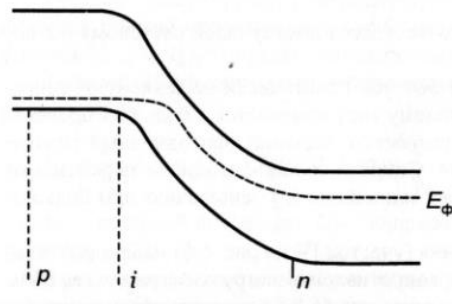


Рис. 3.4. Фотодіод з  $p$ - $i$ - $n$ -структурою

Оскільки ця область може бути зроблена достатньо широкою, така структура створює основу для отримання швидкодіючого та чутливого

приймача. Дірки та електрони, що з'явилися в  $i$ -області за рахунок поглинення випромінювання, швидко розділяється електричним полем. Енергетична діаграма  $p-i-n$ -діода при зворотному зміщенні представлена на рис. 3.5. Близько 90% випромінювання поглинається безпосередньо в  $i$ -області.



**Рис.3.5. Енергетична діаграма фотодіода з  $p-i-n$ -структурою**

Підвищення швидкодії обумовлене тим, що в процес дифузії через базу, характерний для звичайної структури, в  $p-i-n$ -структурі змінюється на дрейф носіїв через  $i$ -область в сильному електричному полі.

Час дрейфу дірок ( $t_{dp}$ ) через  $i$ -область шириною  $h$  складає:

$$t_{dp} = h / v_p = h / (\mu_p E),$$

де  $E$  - напруженість електричного поля в  $i$ -області;  $\mu_p$  - рухомість дірок;

$v_p$  - швидкість дрейфу дірок в електричному полі.

При напруженості електричного поля близько  $2 \cdot 10^6$  В/м досягається максимальна швидкість дрейфу носіїв  $v = (6 \dots 8) \cdot 10^4$  м/с.

В цьому випадку при  $h = 10^{-2}$  см отримаємо  $t_{dp} = (10^{-9} \dots 10^{-19})$  с. Діапазон частот для такого діода  $\Delta f = 10^9$  Гц. Це швидкодіючі кремнієві діоди.

Таким чином, фотодіоди з  $p-i-n$ -структурою мають наступні основні переваги:

- поєднання високої чутливості (при  $\lambda \approx 0,9$  мкм практично досягнуто теоретичної межі чутливості  $S_{\phi} \approx 0,7$  А/Вт) і високої швидкодії;

- можливість забезпечення високої чутливості в довгохвильовій області спектру зі збільшенням ширини  $i$ -області;
- мала бар'єрна ємність;
- малі робочі напруги в фотодіодному режимі, що забезпечує електричну сумісність  $p-i-n$ -фотодіодів з інтегральними мікросхемами.

До недоліків  $p-i-n$ -структури слід віднести потребу високої чистоти  $i$ -бази і погану технологічну сумісність з тонкими легованими шарами інтегральних схем [14].

### В и с н о в к и

При великих значеннях зворотної напруги спостерігається лавинний пробій  $p-n$ -переходу. Якщо за допомогою опору навантаження обмежити великий зворотній струм  $p-n$ -переходу, що спостерігається в даному випадку, то можливо реалізувати фотоприймач, що використовує оборотний електричний прилад, що підсилює фотострум декілька разів у порівнянні з фотострумом у фотодіодному режимі. Цей ефект використовують у лавинних фотодіодах. Для вибору типу ІЧ-датчика для розробки охоронної системи було проведене порівняння активних та пасивних ІЧ-датчиків. Також були розглянуті основні фізичні процеси, що відбуваються у фотоприймальних діодах на основі структури  $p-n$ -переходу та на основі структури з  $p-i-n$ -переходу.

Фотодіоди з  $p-i-n$ -структурою мають наступні основні переваги:

- поєднання високої чутливості (при  $\lambda \approx 0,9$  мкм практично досягнуто теоретичної межі чутливості  $S_{\phi} \approx 0,7 \text{ A/Wt}$ ) і високої швидкодії;
- можливість забезпечення високої чутливості в довгохвильовій області спектру зі збільшенням ширини  $i$ -області;
- мала бар'єрна ємність;
- малі робочі напруги в фотодіодному режимі, що забезпечує електричну сумісність  $p-i-n$ -фотодіодів з інтегральними мікросхемами.

До недоліків  $p-i-n$ -структури слід віднести потребу високої чистоти  $i$ -бази і погану технологічну сумісність з тонкими легованими шарами інтегральних схем.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. РОЗРОБКА АКТИВНОГО ІЧ-БАР'ЄРУ

### 4.1. Вибір фотоприймача

Ключовим елементом бар'єру є мікросхема інтегрального фотоприймача TSOP1736 виробництва фірми VISHAY. Її структурна схема показана на рис. 4.1. В якості приймача оптичного випромінювання в мікросхемі встановлений високочутливий PIN-фотодіод, сигнал з якого поступає на вхідний підсилювач, який перетворює вихідний струм фотодіода в напругу. Перетворений сигнал поступає на підсилювач з АРП і далі на смуговий фільтр, який виділяє сигнали з робочою частотою 36 кГц з шумів і перешкод. Виділений сигнал поступає на демодулятор, який складається з детектора і інтегратора [9].

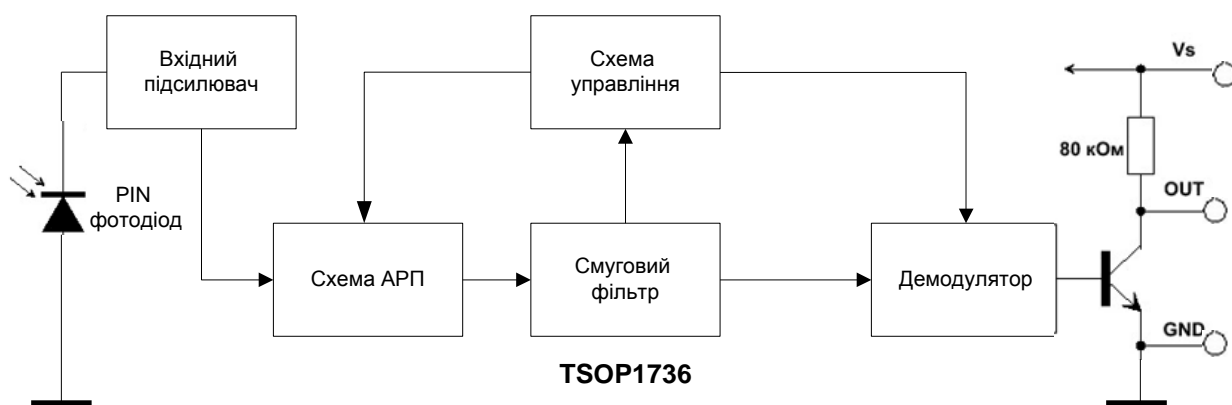


Рис. 4.1 Структурна схема фотоеlementу

Мікросхема інтегрального фотоприймача TSOP1736 оптимізована для прийому складного сигналу, що являє собою короткі пакети імпульсів з робочою частотою 36 кГц. У паузах між імпульсами відбувається калібрування системи АРП. Управляє цим схема управління. Унаслідок такої побудови мікросхема не реагує на безперервну перешкоду навіть на робочій частоті. Активний рівень вихідного сигналу низький. Мікросхема не вимагає для своєї роботи установки жодних зовнішніх елементів. Всі її компоненти, включаючи фотоприймач, захищені від зовнішніх наведень внутрішнім електричним екраном і залиті спеціальною пластмасою. Ця пластмаса є фільтром, що відсікає оптичні перешкоди у видимому діапазоні світла.

Завдяки всім цим заходам мікросхема відрізняється вельми високою чутливістю і низькою вірогідністю появи помилкових сигналів. При цьому вона має малі габарити (~5x10x13 мм) і, що вельми важливо, низьку вартість (~\$1).

#### 4.2. Принципова схема пристрою

Система інфрачервоного бар'єру складається з двох окремих модулів – приймача і передавача. Технічні характеристики ІЧ-бар'єру наведені в таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1**

#### Технічні характеристики ІЧ-бар'єру

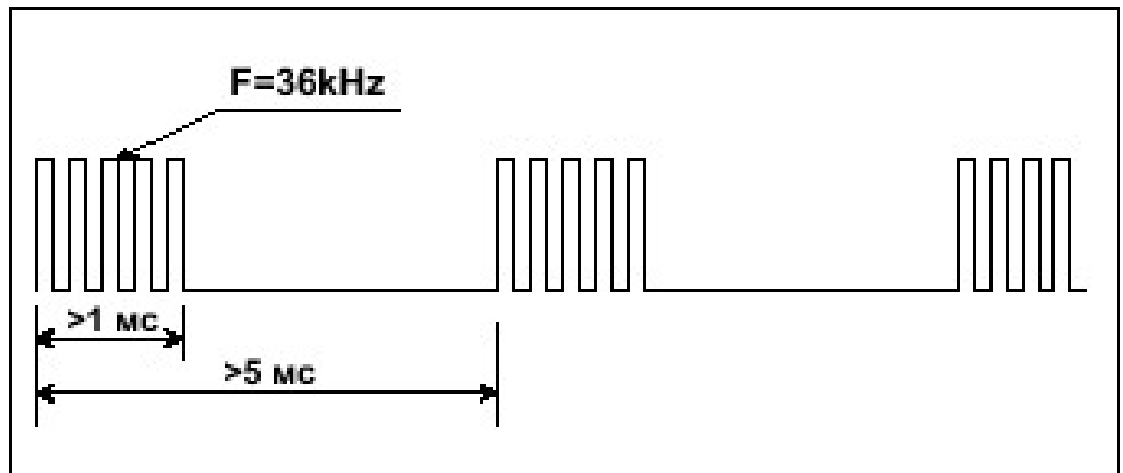
№ п/п	Технічні характеристики	Параметри
1.	Довжина хвилі оптичного випромінювання, мкм	0,94
2.	Напруга живлення приймача, В	12 (7...13)
3.	Напруга живлення передавача, В	12 (9...13)
4.	Струм, що вживається передавачем, не більше, мА	30
5.	Струм, що вживається приймачем, не більше, мА	60
6.	Комутований струм реле фотоприймача, А	10
7.	Максимальна відстань між передавачем та приймачем, м	50
8.	Розміри друкованої плати передавача, мм	32x25
9.	Розміри друкованої плати приймача, мм	32x25

#### 4.3. Робота пристрою

Для нормальної роботи ІЧ-бар'єру передавач повинен формувати імпульси випромінювання відповідно до діаграми, показаної на рис. 4.2.

При зміні напруги живлення, температури і інших чинників частота імпульсів не повинна змінюватися більш ніж на 5%. Як генератор імпульсів, що задовольняє таким вимогам, в передавачі використаний здвоєний інтегральний таймер типу NE556. На одній його половині зібраний генератор

з частотою 36 кГц, ця частота задається елементами C3, R4, R5. На другій половині зібраний генератор огинаючої, який управляє першим таймером. Його частота і скважність задається елементами C1, R1, R3, D1. Мікросхема має потужний вихід, здатний віддавати в навантаження струм в 200 мА, тому виявилось можливим підключити випромінюючі діоди безпосередньо до виходу мікросхеми. Елементи C2, C4, C5 служать для фільтрації живлячої напруги [9].



**Рис. 4.2** Часова діаграма імпульсів, що формуються передавачем

У *приймачі* елементи R2, C1, D1 служать для формування живлячої напруги в 5 В для мікросхеми фотоприймача. За наявності вхідного оптичного сигналу, на виводі 3 фотоприймача присутня послідовність коротких негативних імпульсів. Ця послідовність безпосередньо непридатна для управління реле. Тому вона поступає через піковий детектор (пристрій, сигнал на виході якого дорівнює максимальному (або мінімальному) значенню сигналу на вході), що складається з елементів R1, D2, C3 на вхід підсилювача на польовому транзисторі VT1. Цей транзистор може комутувати струм до 0,5 А, що цілком достатньо для управління реле. У приймачі встановлений додатковий червоний світлодіод HL1, який спалахує одночасно із спрацюванням реле. Наявність цього світлодіода полегшує установку і контроль роботи ІЧ-бар'єру. Мікросхема фотоприймача споживає

струм порядку 1 мА при напрузі живлення 5 В. Тому діапазон робочої напруги і максимальний струм живлення визначається в основному параметрами реле. Так наприклад встановивши в приймач малопотужне реле на 5 В можна понизити загальну напругу живлення до 5 В і зменшити споживаний струм, але при цьому зменшиться допустимий комутований струм навантаження. Для управління навантаженням призначена перекидна група контактів реле, і користувач може сам вирішити якими контактами йому зручніше користуватися – нормально замкнутими або нормально розімкнутими.

#### 4.4. Конструкція пристрою

Передавач і приймач ІЧ-бар'єру виконані на друкованих платах однакового розміру і розміщені в однакових малогабаритних пластмасових корпусах, що мають додатковий фланець для кріплення.

У корпусі приймача перед мікросхемою фотоприймача необхідно просвердлити отвір діаметром 8мм, в другий заздалегідь просвердлений отвір потрібно встановити контрольний світлодіод. Аналогічним чином встановлюються світлодіоди в блоці передавача. При необхідності корпусу можна легко загерметизувати, що дозволить використовувати ІЧ-бар'єр у вологих погодних умовах. Якщо бар'єр планується використовувати з дистанцією між передавачем і приймачем не більше 18 м, то в передавачі досить встановити один випромінюючий діод і резистор R2 з номіналом 56 Ом, якщо ж планується використовувати ІЧ-бар'єр з дистанціями до 50 м, то необхідно встановлювати два світлодіоди і резистор R2 з номіналом 39 Ом.

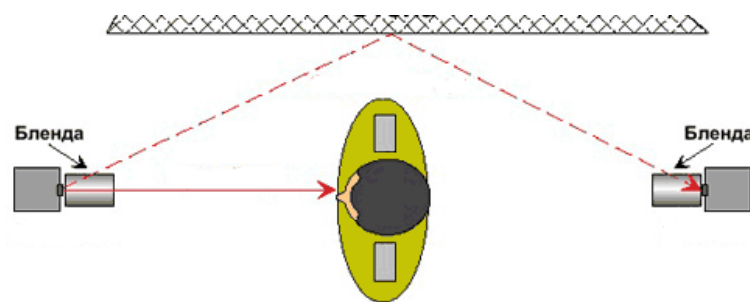
#### 3.5. Особливості використання пристрою

Можливі варіанти використання ІЧ-бар'єру показані на рис.4.3 та рис. 4.4. Основний варіант роботи ІЧ-бар'єру – це робота «на просвіт», коли приймач і передавач встановлюються один проти одного на певній відстані. В цьому випадку реле в приймачі спрацює при пересіченні непрозорим предметом

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



інфрачервоного променя. При використанні такого режиму бар'єр має деякі особливості. Унаслідок того, що приймач комплексу має досить високу чутливість, то при використанні ІЧ-бар'єру в ситуаціях, коли поруч присутні великі відзеркалюючі поверхні, наприклад стіни, можуть мати місце збої в роботі, оскільки приймач реагуватиме на відбитий від стін сигнал. Для того, щоб уникнути таких ситуацій рекомендується на приймач і передавач встановлювати захисні бленди – пластмасові або металеві трубки, зачорнені усередині. Такі бленди звужують поле зору приладів і підвищують надійність їх роботи.



**Рис. 4.3. Режим роботи бар'єру "на просвіт":**  
**- - - - - відбитий промінь; → – прямий промінь**

Висока чутливість приймача дозволяє окрім традиційної роботи «на просвіт» використовувати ІЧ-бар'єр в режимі роботи «на віддзеркалення». Для реалізації цього режиму потрібно забезпечити в зоні, що охороняється, не було об'єктів, що відображають. В цьому випадку приймач і передавач ставляться поруч і спрямовуються у бік зони, що охороняється. Між ними встановлюється непрозора перегородка, що перешкоджає прямому засвіченню приймача передавачем. При появі в зоні, що охороняється, об'єкту, що відображає, приймач включить реле виконавчого механізму. Дальність дії в такому режимі залежить від величини об'єкту, що відображає, але у всіх випадках буде менше, ніж у режимі роботи «на просвіт».



**Рис. 4.4. Режим роботи бар'єру на відзеркалення**

При використанні ІЧ-бар'єру з малою відстанню між приймачем і передавачем рекомендується встановлювати перед приймачем нейтральний поглинаючий світлофільтр - «темні окуляри», це дозволить підвищити захист від зовнішнього засвічення і знизить вірогідність збоїв.

### **В и с н о в к и**

Для створення охоронної системи було обрано активний інфрачервоний датчик, оскільки він є простішим при налаштуванні та використанні та має меншу вірогідність помилкових спрацьовувань. В якості фотоприймального пристрою було обрано досить чутливий та дешевий фотодіод з *p-i-n*-структурою.

Для передавача було обґрунтовано вибір двогенераторної схеми, що виробляє короткі пакети імпульсів з частотою 36 кГц (на цю частоту орієнтовано обраний фотодіод). Ця схема дозволила значно знизити вірогідність помилкових спрацьовувань датчика.

Також важливим є той факт, що розроблена система має досить малі розміри, що дозволяє, по-перше, добре маскувати пристрій, і, по-друге, розмістити на одній порівняно невеликій платі два або більше елементів ІЧ-бар'єру. Це дає можливість для створення більш надійної багатопроменевої системи з наступними параметрами:

## ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено аналіз існуючих технічних засобів охорони, а саме: розглянуті основні групи цих засобів, порівняння різних типів датчиків, що використовуються в охоронних системах. Для вибору типу ІЧ-датчика для розробки охоронної системи було проведене порівняння активних та пасивних ІЧ-датчиків. Також були розглянуті основні фізичні процеси, що відбуваються у фотоприймальних діодах, включаючи фотодіоди з *p-i-n*-структурою.

Для створення охоронної системи було обрано активний інфрачервоний датчик, оскільки він є простішим при налаштуванні та використанні та має меншу вірогідність помилкових спрацьовувань. В якості фотоприймального пристрою було обрано досить чутливий та дешевий фотодіод з *p-i-n*-структурою.

Для передавача було обґрунтовано вибір двогенераторної схеми, що виробляє короткі пакети імпульсів з частотою 36 кГц (на цю частоту орієнтовано обраний фотодіод). Ця схема дозволила значно знизити вірогідність помилкових спрацьовувань датчика.

Також важливим є той факт, що розроблена система має досить малі розміри, що дозволяє, по-перше, добре маскувати пристрій, і, по-друге, розмістити на одній порівняно невеликій платі два або більше елементів ІЧ-бар'єру. Це дає можливість для створення більш надійної багатопроменевої системи з наступними параметрами:

№	Технічні характеристики	Параметри
1.	Довжина хвилі оптичного випромінювання, мкм	0,94
2.	Напруга живлення приймача, В	12 (7...13)
3.	Напруга живлення передавача, В	12 (9...13)
4.	Струм, що вживається передавачем, не більше, мА	30
5.	Струм, що вживається приймачем, не більше, мА	60
6.	Комутований струм реле фотоприймача, А	10
7.	Максимальна відстань між передавачем та приймачем, м	50
8.	Розміри друкованої плати передавача, мм	32x25
9.	Розміри друкованої плати приймача, мм	32x25

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы и принципы построения, 2008. – 207 с.
2. Андреев С.П. ИК-пассивные датчики охранной сигнализации, журнал "Специальная Техника", №1, 1998. – 52 с.
3. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение, 1989. – 357 с.
4. Джексон Р. Г. Новейшие датчики: пер. с англ. под ред. В. В. Лучинина. М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
5. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Поліщук Є. С. та ін. Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.
6. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: наук.-навч. вид. в 3 т. Т. 2 / В. Вуйцік та ін.; за ред. З. Ю. Готри. Львів: Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
7. Логинов В. И. Электрические измерения механических величин. М.: Энергия, 1976. – 104 с.
8. Осипович Л.А. Датчики физических величин. М.:Машиностроение, 1979.–159 с.
9. Игнатов А. Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учеб. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 272 с.
10. Матвійків М. Д. та інші. Елементна база електронних апаратів: Підручник / М. Д. Матвійків, В. М. Когут, О. М. Матвійків. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 428 с.
11. Вуйцік В. та інші. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Наук.-навч. видання. В 3-х томах. Том 2/Вуйцік В., Готра З. Ю. , Готра О. З., Григор'єв В. В. та інші.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2003. –595 с.
12. Вуйцік В. та інші. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Наук.-навч. видання. В 3-х томах. Том 3. Книга 1 / Вуйцік В., Готра З. Ю. , Готра О. З., Григор'єв В. В. та інші.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. –249 с.
13. Вуйцік В. та інші. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Наук.-навч. видання. В 3-х томах. Том 3. Книга 2 / Вуйцік В., Готра З. Ю. , Готра О. З., Григор'єв В. В. та інші.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. –367 с.
14. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки. В 2- томах. Том 2. Вимірювальна техніка. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 655 с.

					ЗБР.6.050802.051.002 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Додаток А.**

**Порівняльна таблиця деяких сучасних активних ІЧ-бар'єрів**

Найменування, марка	Виробник	Особливості застосування	Розмір зони виявлення	Кількість променів	Допустима втрата енергії	Час перетину променів	Кут розсіювання	Виділення сигналу	Умови експлуатації	Клас захисту	Напруження живлення	Додаткові відомості
СПЕК-5	ЗАТ СПЕК	Периметр	До 125 м	1	100 разів	100 мс	± 5°	Реле	Від -40 до +50 °С	IP54	10,2-30 В	4 частоти
Вектор-СПЕК	ЗАТ СПЕК	Периметр	До 150 м	1	100 разів	100 мс	± 90°	Реле	Від -40 до +50 °С	IP54	10,2-30 В	4 частоти
СПЕК-8	ЗАТ СПЕК	Периметр	До 300 м	1	1000 разів	50-400 мс	± 90°	Реле	Від -50 до +55 °С	IP67	18-30 В	4 частоти
СПЕК-7	ЗАТ СПЕК	Периметр	До 15 м	2 або 6	15 разів	50-400 мс	± 90°	Реле	Від -40 до +50 °С	IP67	10,2-30 В	4 частоти

[illegible]

[illegible]

[illegible]



